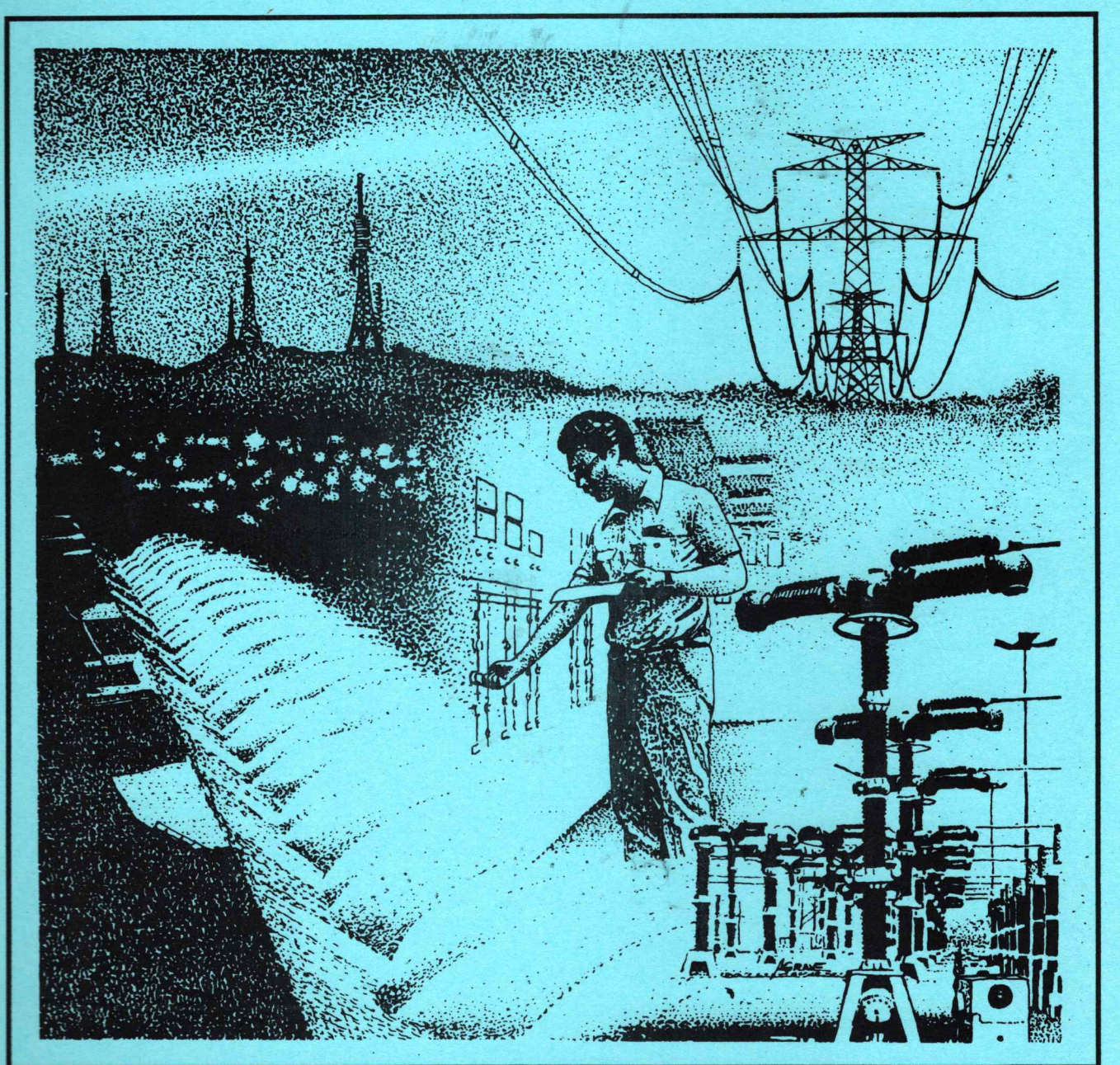
TELEPROTECCIÓN

V CURSO INTERNACIONAL DE TREINAMENTO EM PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO



JFY 1998

SÉRIE DE TREINAMENTO, 445

PROGRAMA DE TREINAMENTO
PARA TERCEIROS PAÍSES - TCTP

Apostila

Teleproteção em Sistemas Elétricos de Potência

Paulo Koiti MAEZONO

Revista e Atualizada

Acordo
JICA/CESP

São Paulo
1998

PH - Departamento de Recursos Humanos
PHD - Divisão de Políticas e Desenvolvimento
PHDI - Centro de Treinamento Técnico de Ilha Solteira

M.O. 9.415.313

Al. Maranhão, s/nº - Ilha Solteira - SP
Tel. (018) 762-2973

Depósito Legal: Biblioteca

CESP - CATALOGAÇÃO NA FONTE

CESP.
Programa de treinamento para terceiros países – Teleproteção em sistemas elétricos de potência./ CESP, Paulo Koiti Maezono. -- São Paulo, 1997
35 p. -- (Série Treinamento, 447)

Acordo JICA/CESP

1 Teleproteção. 2. Estudo e ensino. I.Título. II.Série.

SUMÁRIO

p.

1. INTRODUÇÃO 3

2. FINALIDADE DA TELEPROTEÇÃO 3

3. MEIOS DE COMUNICAÇÃO 6

3.1. Fio Piloto 6
3.2. Carrier (Onda Portadora) 7
3.3. Micro-Ondas (e UHF) 14

4. ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO 16

4.1. Introdução 16
4.2. Esquemas de Comparação de Fase 16
- Exemplo de Esquema Tipo "Blocking" 22
- Exemplo de Esquema Tipo "Unblocking" 23

4.3. Esquemas de Transferência de Sinal de Trip 25

- Transferência de Trip Direto com Subalcance 26
- Transferência de Trip Permissivo com Subalcance 27
- Transferência de Trip Permissivo com Sobrealcance 28
- Transferência de Trip Direto 29

4.4. Esquemas de Comparação Direcional 30

- Esquema "Blocking" de Comparação Direcional 32
- Esquema "Unblocking" de Comparação Direcional 33

4.5. Esquemas de Aceleração ou Prolongamento de Zona de Proteção de Distância 34

1. INTRODUÇÃO

Esta publicação tem a finalidade de fornecer subsídios para o aprimoramento e a reciclagem de conhecimentos necessários a engenheiros e técnicos envolvidos com a área de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, no que se refere a esquemas de Teleproteção para linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão. Ênfase maior é dada aos aspectos funcionais destes esquemas. Aspectos tecnológicos a nível de componentes não são abordados.

Foi baseada principalmente em esquemas existentes na CESP - Companhia Energética de São Paulo, e na experiência adquirida na área de Proteção desta Empresa. Portanto, de maneira alguma esta publicação pretende ser completa. Pretende, isto sim, ser um ponto de partida e uma espécie de incentivo aos que desejarem se aperfeiçoar na especialidade.

2. FINALIDADE DA TELEPROTEÇÃO

Esquemas de teleproteção são aplicadas em linhas de transmissão com a finalidade de se atender os seguintes requisitos desejáveis e necessários para a Operação do Sistema de Potência:

- *Seletividade e Rapidez na Proteção*

  Muito se fala ou se publica a respeito da palavra *SELETIVIDADE*. Porém tudo pode ser resumido na seguinte regra básica: " Quando de uma falha ou defeito ("fault") de um componente de um Sistema Elétrico de Potência, o mesmo deve ser desligado o mais *rapidamente* possível, *e somente este componente*". Entende-se como *componente*, todo trecho do Sistema delimitado por disjuntores ou religadores automáticos ou elos fusíveis.

  O grande problema na Proteção de Sistemas Elétricos é a determinação, pelos relés de proteção, do local do defeito ou do curto-circuito, para que se possa desligar o componente defeituoso e somente ele. Esta *seletividade* é alcançada, na maioria das vezes, *em detrimento do tempo de atuação* da proteção.

  Alguns esquemas de proteção são *inerentemente seletivos*, isto é, a própria concepção da proteção permite, quando da atuação da mesma, estabelecer a localização do defeito. É o caso, por exemplo, das proteções diferenciais. Nestes casos, têm-se *seletividade e rapidez*.

  Para o caso de uma linha de transmissão, a localização de defeitos pelos relés de proteção torna-se problemática devido a:

  - Comprimento das linhas;
  - Curtos-circuitos com elevadas resistências de arco ou de contato;
  - Imprecisões nas medidas efetuadas pelos relés, introduzidas por TP's, TC's e transitórios;
  - Imprecisões nos cálculos teóricos de curtos-circuitos e consequentes ajustes nos relés.

Lembrando que o objetivo a atingir é a seletividade com rapidez, torna-se claro que o ideal para uma linha de transmissão seria a proteção diferencial. Esta solução, usando fios / cabos de comunicação, é possível para linhas curtas ou curtíssimas.

Potanto se utiliza esquema de TELEPROTEÇÃO para que o objetivo seja atingido:

" A TELEPROTEÇÃO é um método de proteção de linha, através de relés de proteção e meios de comunicação, no qual um defeito interno é detectado e determinado comparando-se as condições do Sistema nos terminais do circuito protegido, utilizando-se canal ou canais de comunicação " .

Existem variações quanto à definição acima, quando de soluções específicas, como por exemplo:

- Proteção de Reatores "Shunt" de linhas
  Um ou mais canais de comunicação são utilizados para o rápido desligamento da linha em todas as extremidades, quando de defeitos no reator, defeitos estes geralmente detectados somente pela proteção própria do reator.

- Desligamentos Automáticos para se evitar condições operacionais anormais
  Um ou mais canais de comunicação são utilizados para o desligamento de linhas e equipamentos quando determinadas condições no Sistema são atingidos (por exemplo, sobrecargas).

- Proteção de Transformadores conectados em linhas, sem disjuntores.
  Idem ao caso dos Reatores "Shunt".

- Proteção de Retaguarda quando de falha de disjuntores.
  Um ou mais canais de comunicação são utilizados para se desligar linhas ou equipamentos conectados ao disjuntor defeituoso.

- *Confiabilidade*

O simples fato de utilizar algum esquema de teleproteção em uma linha de transmissão não implica em se ter maior confiabilidade na proteção. A confiabilidade está estreitamente relacionada ao tipo do esquema escolhido para cada linha, verificando-se as características particulares da linha em questão.

A escolha adequada do esquema de teleproteção depende:

- do comprimento da linha;
- do tipo de proteção utilizada;
- das características do Sistema de Potência, nas regiões adjacentes à linha;
- do tempo de desligamento exigido para a linha, quando de curto-circuito (estudos de Sistema);
- do tipo do canal de comunicação;
- da filosofia de cada Empresa concessionária.

A confiabilidade é a habilidade do Sistema de Proteção para atuar corretamente quando necessário, e para evitar atuações desnecessárias. Cem porcento de confiabilidade nunca é conseguido. Os necessários compromissos devem ser avaliados com base em riscos comparados.

- *Religamento Automático*

O Religamento Automático em linha de transmissão torna-se necessário quando:

- se desejar manter a continuidade do fornecimento de energia, evitando-se interrupções prolongadas (ordem de minutos);
- se deseja evitar perda de estabilidade no Sistema de Potência, quando de desligamentos.

Para se efetivar um religamento automático quando da abertura de um terminal de linha, várias condições devem ser observadas:

- A Atuação da Proteção deve ter ocorrida em condições de defeito na linha protegida, isto é, o religamento automático não deve ser permitido para atuações de retaguarda;

- Natureza do defeito. Às vezes exige-se que o religamento ocorra apenas para defeitos fase-terra, evitando-se religamentos para defeitos fase-fase ou trifásicos. A probabilidade de que defeitos fase-terra sejam fugitivos (e não permanentes) é maior.

- Condições do Disjuntor. Evidentemente, o disjuntor deve ser adequado para permitir o religamento automático, sem atingir o limite de potência de interrupção. E também as condições de pressão do ar comprimido (ou carregamento da mola) devem ser supervisionadas.

- Tentativas de Religamento. Geralmente para linhas de alta e extra-alta tensão utiliza-se apenas uma (1) tentativa de religamento automático, bloqueando-se o mesmo após a segunda abertura do disjuntor.

- Tempo de extinção do arco. O tempo necessário para extinção do arco após a abertura da linha de transmissão depende do comprimento, do nível de tensão e demais características da linha. O tempo de extinção conta-se desde o instante da abertura do último disjuntor da linha até o instante do fechamento automático do primeiro disjuntor.

- Tempo "morto". É o intervalo de tempo em que a linha fica sem transportar energia elétrica. O tempo "morto" conta-se desde o instante da abertura do primeiro disjuntor da linha até o instante do fechamento do último disjuntor. Este tempo influi na estabilidade do Sistema de Potência.

Para que muitas das condições acima mencionadas sejam cumpridas, há a necessidade de utilização de esquema de TELEPROTEÇÃO. A teleproteção permite rápido desligamento em todas as extremidades da linha, qualquer que seja a localização do defeito dentro da linha, dando assim uma condição básica para a efetivação posterior do religamento automático.

3. MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Os meios de comunicação mais utilizados para esquemas de teleproteção são:

- Fio Piloto (Conexão Física entre os terminais da linha de transmissão).
- Carrier (Onda Portadora sobre Linhas de Alta Tensão).
- Micro-Ondas
- UHF

3.1. Fio Piloto

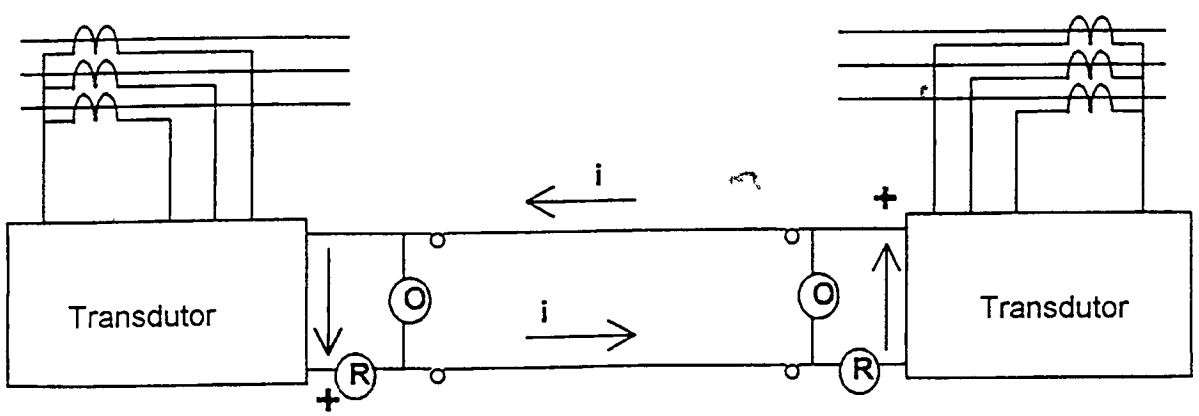
Conexão física através de par de fios telefônicos ou fibra ótica entre as duas extremidades da linha de transmissão protegida. Através desta comunicação, um dos vários tipos de esquemas podem ser escolhidos, utilizando-se sinais DC, sinais AC (60 Hz) dos TC's de linha ou sinais de audio frequência. Basicamente é uma proteção diferencial aplicada à linha. Portanto é inerentemente seletiva.

Utilizada para proteção de linhas curtas ou curtíssimas, em geral até 20 km. Limitado pela atenuação do sinal de comunicação.

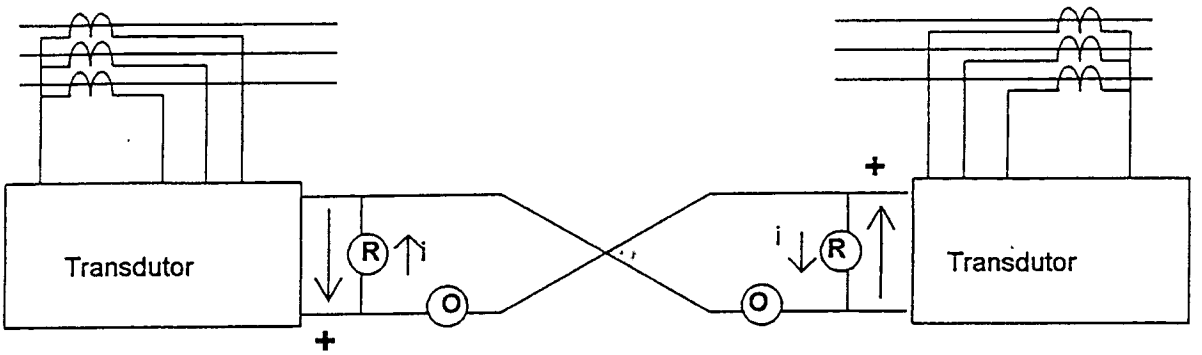
No caso de par de fios, tem-se as seguintes desvantagens: 1) Elevada atenuação de sinais nos pares telefônicos; 2) Alto custo de implantação do meio de comunicação; 3) Alto índice de manutenção; 4) Baixa confiabilidade do sistema devido aos ruídos que são introduzidos, principalmente nos casos em que os pares caminham paralelamente à linha de transmissão.

Exemplos de esquemas de "fio piloto" utilizando sinais 60 Hz dos TC's de linha:

Esquema de " correntes circulantes ":



Esquema de " tensões opostas ":



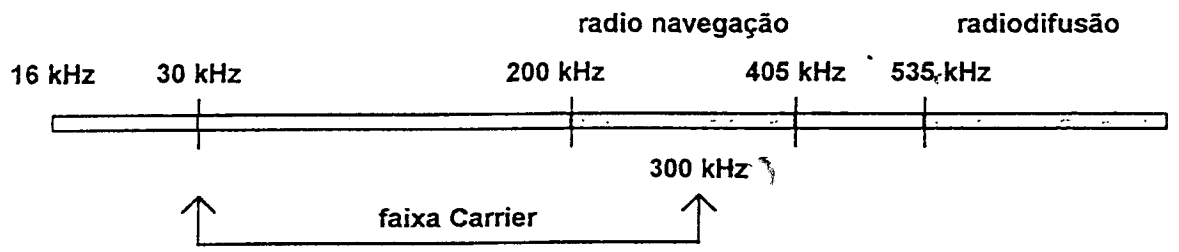
3.2. Carrier (Onda Portadora)

É o meio de comunicação mais utilizado para esquemas de teleproteção, em vista do baixo custo. Há o aproveitamento da própria Linha de Transmissão como meio físico de propagação do sinal, interligando subestações e usinas.

Vantagens: Econômico, para pequeno número de canais e longas distâncias. Baixo custo de manutenção, com facilidades de acesso. Não necessita de repetidoras para transmissão a longa distância. A Linha de Transmissão é um suporte físico confiável.

Desvantagens: Baixa capacidade de canalização. Faixa limitada do espectro de frequências. Suceptível a ruídos do Sistema Elétrico de Potência (gerados por curtos-circuitos, manobras de disjuntores e seccionadoras).

Faixa de Frequências:



O Carrier geralmente opera sobre uma faixa de frequências entre 30 e 300 kHz. Abaixo de 30 kHz o acoplamento na linha torna-se impraticável e acima dos 300 kHz as perdas são maiores e pode haver interferências com serviços de rádio, devido à irradiação de sinais no espaço.

Modos de Operação:

- **" on off "**

  Sinal transmitido somente quando de operação da proteção (" on "), permanecendo normalmente sem sinal (" off "). Opera-se uma única frequência para transmitir informação de um ponto para outro. Uso limitado a alguns esquemas de teleproteção.

- **" frequency - shift "**

  Opera enviando duas (2) frequências não simultâneas pelo canal. Normalmente transmite a *frequência de guarda*. No caso da atuação da proteção, suprime a frequência de guarda e passa a transmitir a *frequência de comando*. A frequência de guarda geralmente é 100 Hz acima da frequência nominal do canal, e a frequência de comando é 100 Hz abaixo da frequência nominal.
  Há portanto um deslocamento de frequência de 200 Hz ("shift"). O receptor possui toda a lógica para detectar este "shift".

  O modo frequency shift (FSK) apresenta maior confiabilidade de sinal, no sentido de prevenir eventuais atuações incorretas do esquema quando de ruídos no Sistema de Potência, que poderiam simular falsa recepção.

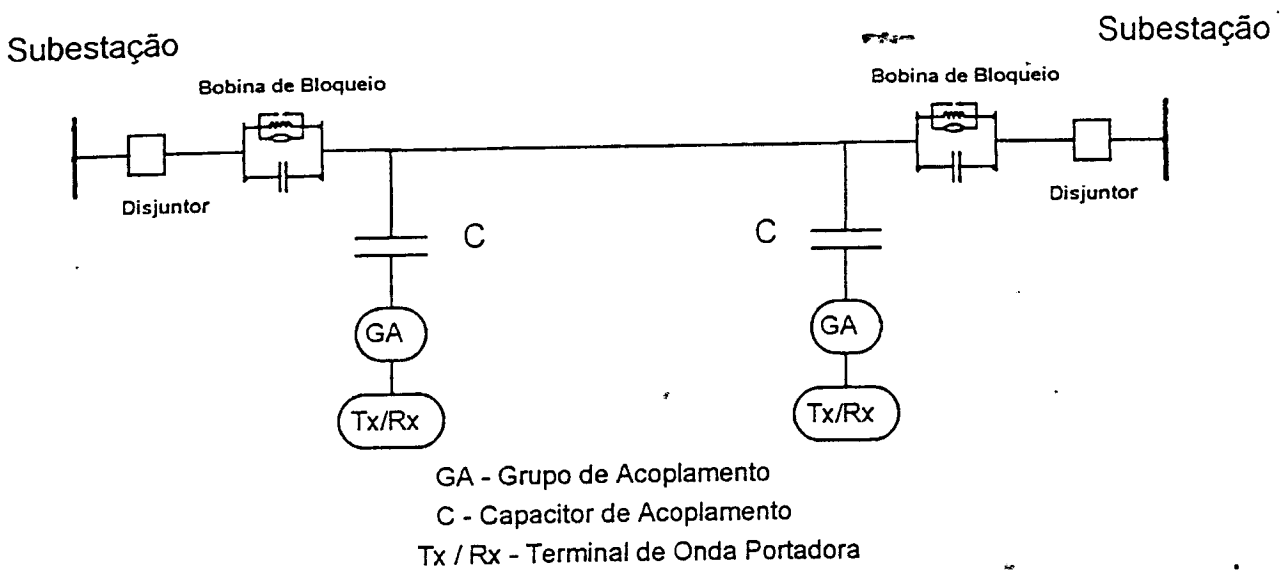
  Um modo de se garantir esta confiabilidade seria estabelecer uma lógica de recepção de sinal como o que se segue:
  - O sinal de guarda deve ter existido imediatamente antes do shift de frequência;
  - Não deve existir ruído sustentado de alto nível no canal;
  - O shift (frequência de guarda para frequência de comando) deve ocorrer sem temporização intencional;
  - A frequência de comando deve ter duração suficientemente longo (2 a 20 ms ajustável).

  Outros tipos de lógica de recepção existem, para vários tipos de esquemas de teleproteção.

- **Outros tipos de operação**

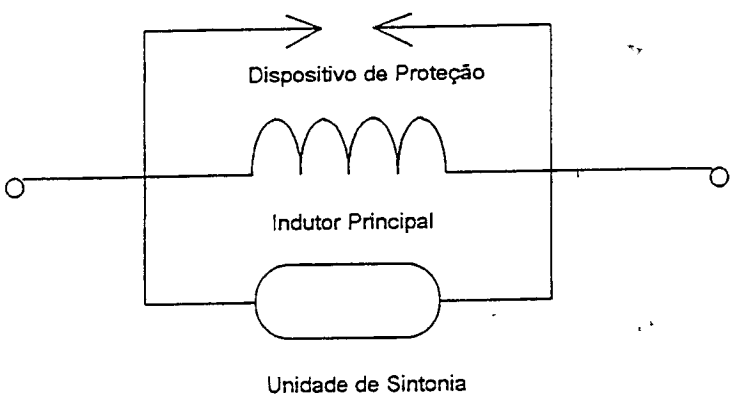
  Outros tipos de operação podem existir (como o SSB), porém são raramente utilizados no Carrier para Teleproteção.

Componentes Básicos do Sistema Carrier



GA - Grupo de Acoplamento
C - Capacitor de Acoplamento
Tx / Rx - Terminal de Onda Portadora

Bobina de Bloqueio:



Dispositivo de Proteção
- Para ráios contra sobretensões transitórias no Sistema de Potência.

Indutor Principal
- Enrolamento de alumínio. Conduz a corrente da linha.

Unidade de Sintonia
- Em conjunto com o indutor, apresenta impedância elevada para dada faixa de frequências.

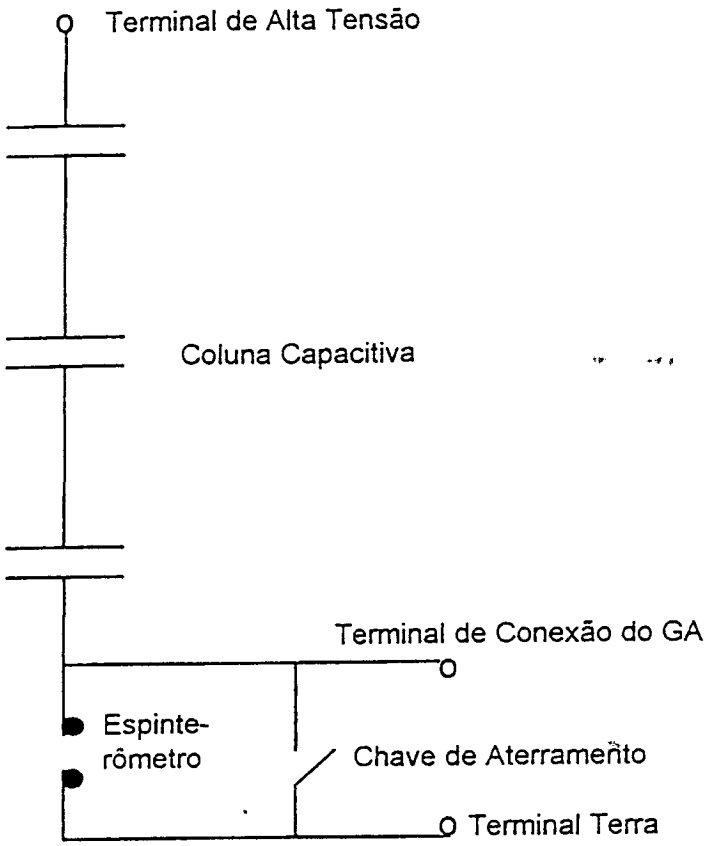
A Bobina de Bloqueio é uma indutância em série com a linha de transmissão, possuindo uma unidade de sintonia (C, R) em paralelo. É um circuito ressonante que se apresenta com alta impedância para frequência operativa do Carrier, porém com impedância desprezível à frequência do Sistema (60 Hz ou 50 Hz).

As Bobinas evitam que a energia do sinal Carrier flua para as subestações, delimitando o trecho que deve percorrer (através da linha de transmissão). Elas evitam, também, que curtos circuitos ou manobras ocorridos fora do trecho incluenciem no sinal do trecho.

Uma bobina de bloqueio, pelo fato de estar em série com a linha, deve supertar continuamente a corrente de carga da linha, além de apresentar limites térmicos e dinâmicos compatíveis com as correntes de curto-circuito previstas.

A indutância pode variar de 0,1 mH a 2,0 mH, dependendo da faixa de frequências a bloquear.

Capacitor de Acoplamento



Isola, junto com o GA - Grupo de Acoplamento, o equipamento Tx / Rx da linha de Alta Tensão.

É o caminho de injeção do sinal Carrier à linha de Alta Tensão.

Características:

$C_{nominal}$ entre 1000 e 10000 pF

f = 60 Hz ou 50 Hz

$V_{nominal}$

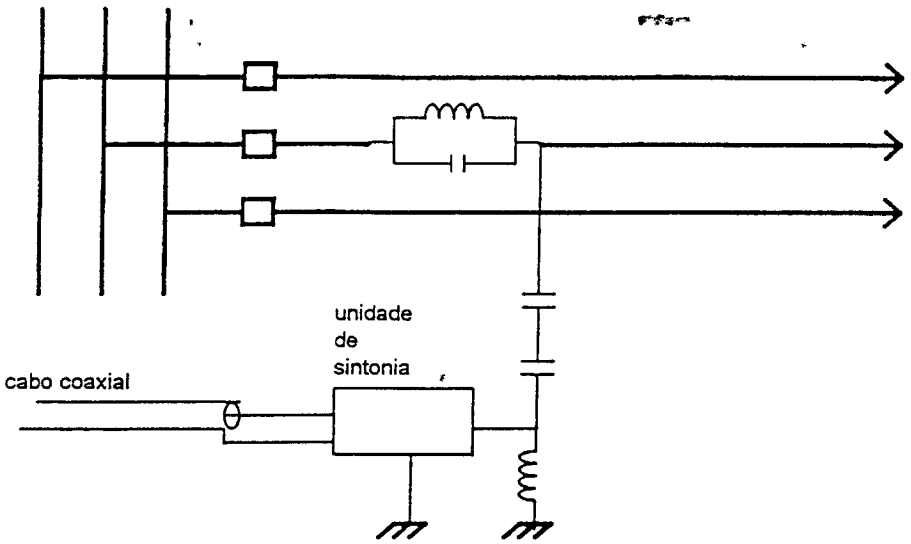
Alternativa: TP Capacitivo (depende do $)

Os sinais Carrier são acoplados à linha de transmissão através dos Capacitores de Acoplamento, montados dentro de isoladores de porcelana. O valor da capacitância depende do nível de tensão do Sistema e outros requisitos.

Existem 4 (quatro) tipos de arranjos básicos para o acoplamento:

- Acoplamento fase-terra
- Acoplamento fase-fase
- Acoplamento para 2 fases de circuitos paralelos
- Acoplamento trifásico

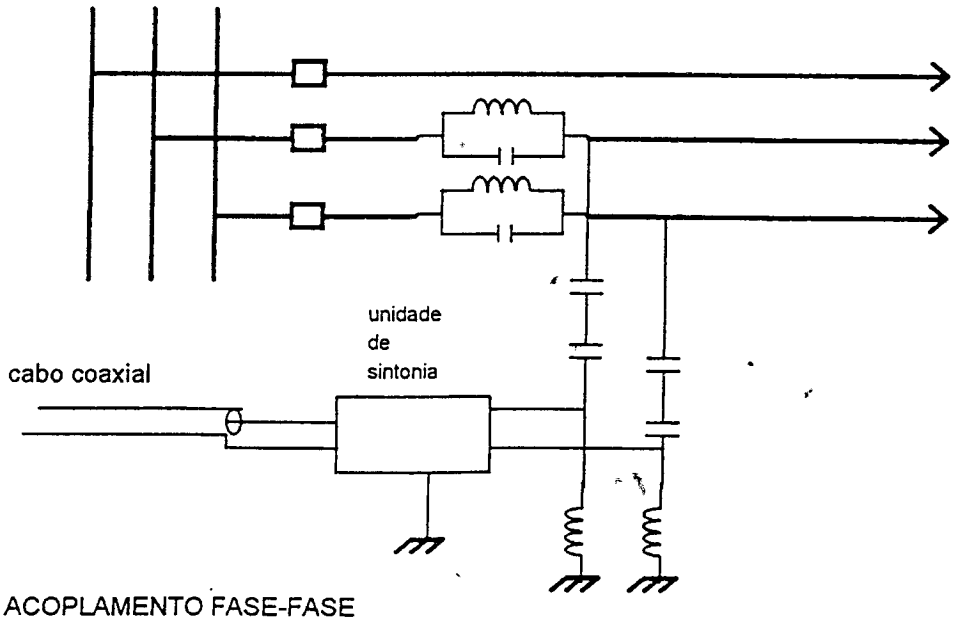
Acoplamento Fase-Terra



ACOPLAMENTO FASE-TERRA

É o arranjo mais simples e econômico. Um defeito fase-terra na fase acoplada provoca perda do sinal transmitido (atenuação).

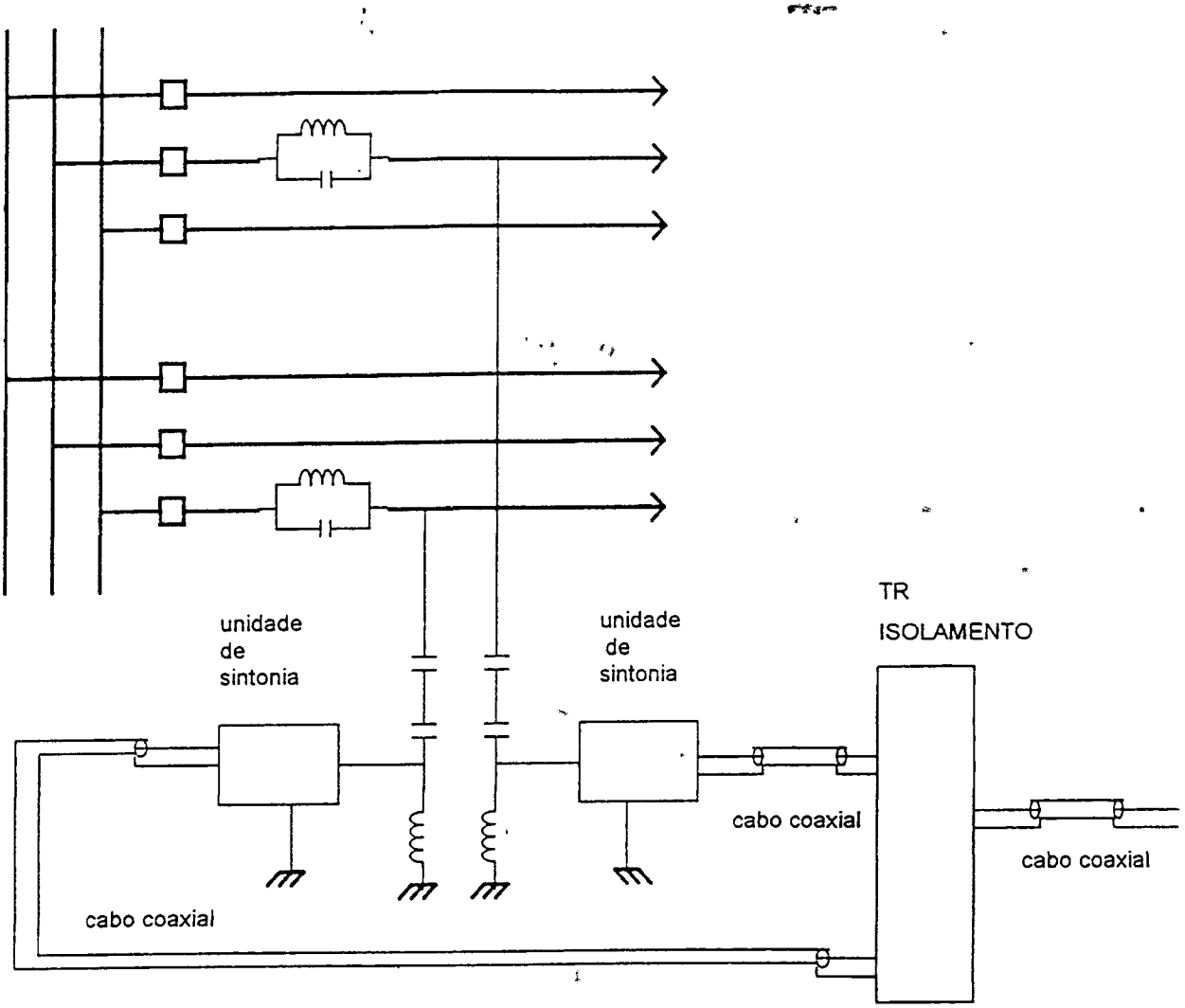
Acoplamento Fase-Fase



ACOPLAMENTO FASE-FASE

Arranjo mais complexo e mais caro. Mais confiável, uma vez que, quando de defeito em uma das fases acopladas, o sistema reverte para o acoplamento fase-terra, evitando perda de comunicação.

Acoplamento entre duas fases de circuitos diferentes



ACOPLAMENTO ENTRE DUAS FASES DE CIRCUITOS DIFERENTES

Arranjo também caro, porém confiável. Quando de um curto circuito em uma das fases acopladas, o sistema utiliza a fase do outro circuito. E ainda, pode-se efetuar manutenção em um dos circuitos sem perda de comunicação.

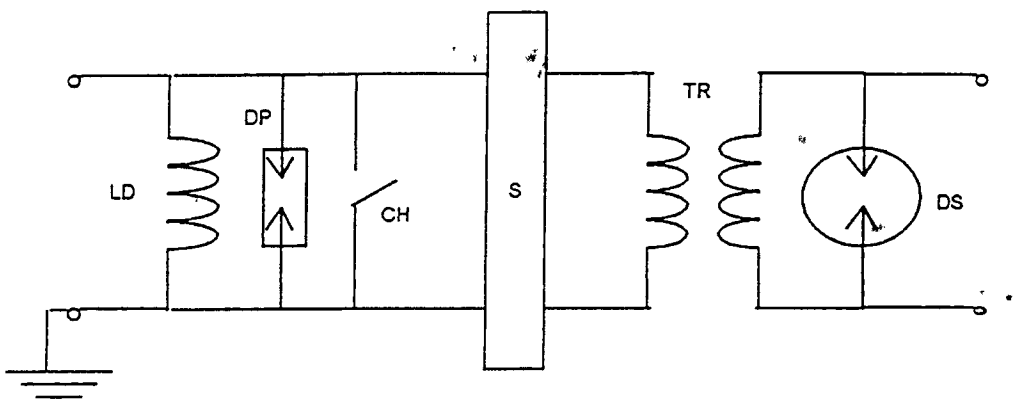
Acoplamento Trifásico

O acoplamento trifásico, não mostrado em figura, é realizado com tres conjuntos de acoplamento em cada terminal de linha. O transmissor / receptor é ligado em uma das fases com as outras duas servindo de retorno de sinal. Consegue-se assim, baixa atenuação e alta confiabilidade.

Grupo de Acoplamento - GA

O cojunto normalmente chamado de Grupo de Acoplamento possui não apenas os dispositivos de sintonia, como também bobina de drenagem, dispositivos de proteção e transformador de acoplamento e tem a finalidade de efetuar o casamento de impedâncias, com baixas perdas, entre a linha de transmissão e o cabo coaxial ligado ao Transmissor / Receptor Carrier (Tx / Rx).

A figura a seguir mostra os principais componentes do Grupo de Acoplamento:



LD - Indutor de Drenagem
S - Dispositivo de Sintonia
DP - Descarregador Principal
DS - Descarregador Secundário
CH - Chave de Aterramento
* - Conexão com Tx / Rx
TR - Transformador para Casamento de Impedânacias e Isolamento

LD = Baixa impedância a 60 Hz. Alta impedância para frequências Carrier. Correntes de carga do Capacitor escoam pela LD. É chamada de Bobina de Drenagem.

DP, DS = Descarregadores para proteção dos Tx / Rx contra surtos originados no Sistema de Potência ou descargas atmosféricas.

CH = Chave de aterramento para proteção de pessoal de manutenção.

S, TR = Unidade de Sintonia. Obtenção da largura da faixa de frequências desejada. Casamento de impedâncias. Isolação galvânica.

Cabo coaxial

Cabo concêntrico de baixas perdas, utilizado para conectar o Grupo de Acoplamento ao Tx / Rx. As perdas (atenuação) no cabo coaxial aumentam com o comprimento do mesmo, dependendo também da frequência do sinal (30 a 300 kHz).

Transmissor / Receptor (Tx/Rx)

É o equipamento terminal de Onda Portadora (Carrier). O transmissor deve ter potência suficiente para assegurar um mínimo de relação sinal / ruído no receptor correspondente, mesmo em condições adversas do meio de transmissão.

O receptor deve ter alta seletividade para minimização dos efeitos de fontes externas de ruídos indesejáveis ou sinais interferentes de outros enlaces que utilizam frequências adjacentes.

Os Rx / Tx para Teleproteção devem ser de uso exclusivo para a Proteção. São associados aos MODEM's de teleproteção, ou aos equipamentos de TONS DE AUDIO para teleproteção. Transformam sinais DC (on / off) em sinal HF na faixa de serviço, e vice-versa.

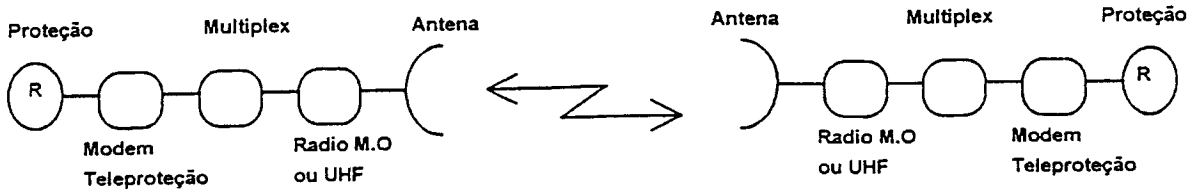
Também existem Rx / Tx para Telefonia, que efetuam a translação de canais de frequência de áudio para a faixa de frequências de transmissão e vice versa.

3.3. Teleproteção por Micro-Ondas (e UHF)

Tanto no Micro-Ondas como no UHF, utiliza-se o espaço aéreo como meio de comunicação. O alcance é limitado pelos enlaces (da ordem de 50 km por enlace). Exigem espaço livre de obstáculos.
Apresentam a vantagem de serem independentes do Sistema Elétrico de Potência. Entretanto são sistemas que exigem infraestrutura onerosa e são afetados pelas condições atmosféricas (sujeito a "fading").

Faixas de frequências para estes sistemas:
- Micro-Ondas: 3000 MHz a 30 GHz
- UHF: 300 MHz a 3000 MHz

O Sistema é composto basicamente de:
- Equipamento de rádio
- Antena
- Multiplex



Multiplex

Emprega a banda básica para formar diversos canais de comunicação.

- FDM - multiplex por divisão de frequências. Divisão da faixa de frequências em faixas menores, as quais constituem, cada uma, em um canal de comunicação distinto.

- TDM - multiplex por divisão do tempo. Utilização da banda básica para constituir, por distribuição no tempo, diferentes canais de comunicação intermitentes.

Rádio

Tem a finalidade de fazer a translação da banda básica para a faixa de frequência de transmissão e vice-versa, com nível adequado, utilizando como meio de transmissão o espaço livre.

Antena

Irradia ou recebe ondas eletromagnéticas.

Modem de Teleproteção

Associado a um canal propiciado por um sistema Micro-Ondas ou UHF. Faz a interface com a proteção atuando em um dos seguintes esquemas:

- "On - off"
- Frequency Shift Key (FSK)

4. ESQUEMAS DE TELEPROTEÇÃO

4.1. Introdução

A escolha de um esquema de teleproteção depende de vários aspectos, como o comprimento da linha a ser protegida, tipo de proteção da linha, tempo de desligamento requerido para a linha, tipo do canal de comunicação e características do Sistema de Potência.

Geralmente o esquema de teleproteção é escolhido quando da escolha da proteção da linha. Há relés que são mais adequados para um esquema e menos para outro.

O próprio meio de comunicação depende do tipo de proteção, do comprimento da linha e o grau de confiabilidade desejado. Mesmo com o meio de comunicação já escolhido, o modo de operação ("on - off", FSK) depende do esquema a ser adotado e da proteção desejada.

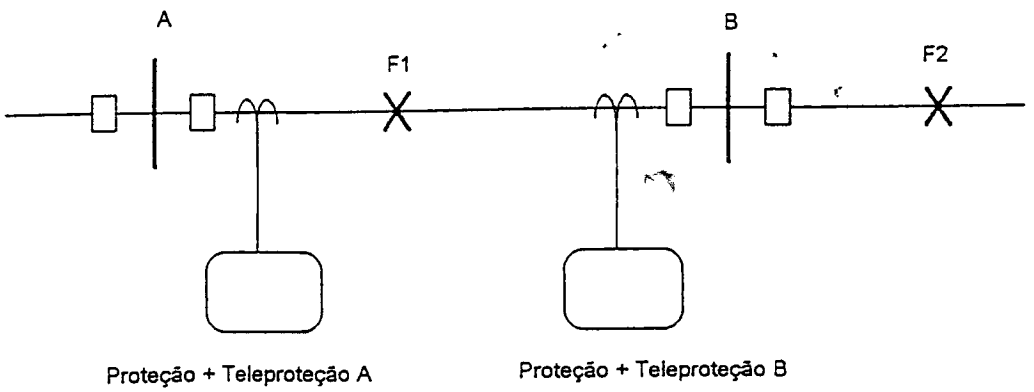
Pode-se classificar os esquemas de teleproteção em 5 (cinco) grandes grupos:

- Esquemas de comparação de fase
- Esquemas de transferência de sinal de "trip"
- Esquemas de comparação direcional
- Esquemas de aceleração ou prolongamento de zona
- Esquemas diferenciais

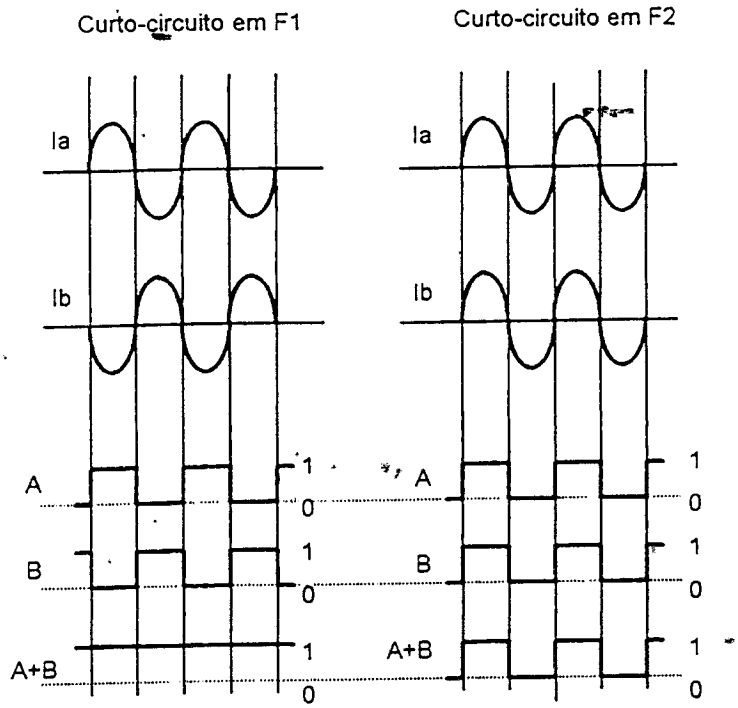
4.2. Esquemas de Comparação de Fase

Princípio de funcionamento

O esquema de proteção conhecido genericamente como "comparação de fase" funciona comparando os ângulos de fase das correntes dos 2 terminais de uma linha de transmissão, como mostra a figura a seguir.



Com a utilização de conversores, temporizadores, amplificadores e circuitos de comparação, pode-se distinguir condições de curtos-circuitos internos e externos à linha protegida.



Verifica-se, pelo princípio, que esta proteção é imune a oscilações de potência e a variações de níveis de tensão no Sistema. Deve-se notar que a seletividade para a proteção de comparação de fase é inerente.

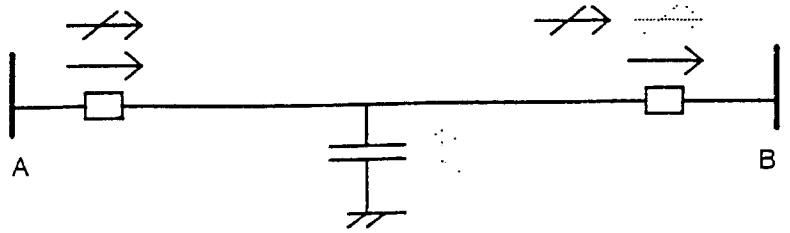
Necesssidade de uma segunda proteção

Considerando o princípio mostrado, verifica-se que a proteção só opera para defeitos internos à linha de transmissão, não havendo retaguarda para defeitos externos. Portanto, se uma proteção de comparação de fase é utilizada, há necessidade de outros tipos de proteção para a mesma linha (como de distância, por exemplo) para servirem de retaguarda, e também como uma segunda proteção para melhor confiabilidade.

A necessidade de uma segunda proteção é reforçada quando se observa que a proteção de comparação de fase ficará inoperante quando de manutenção no canal de comunicação.

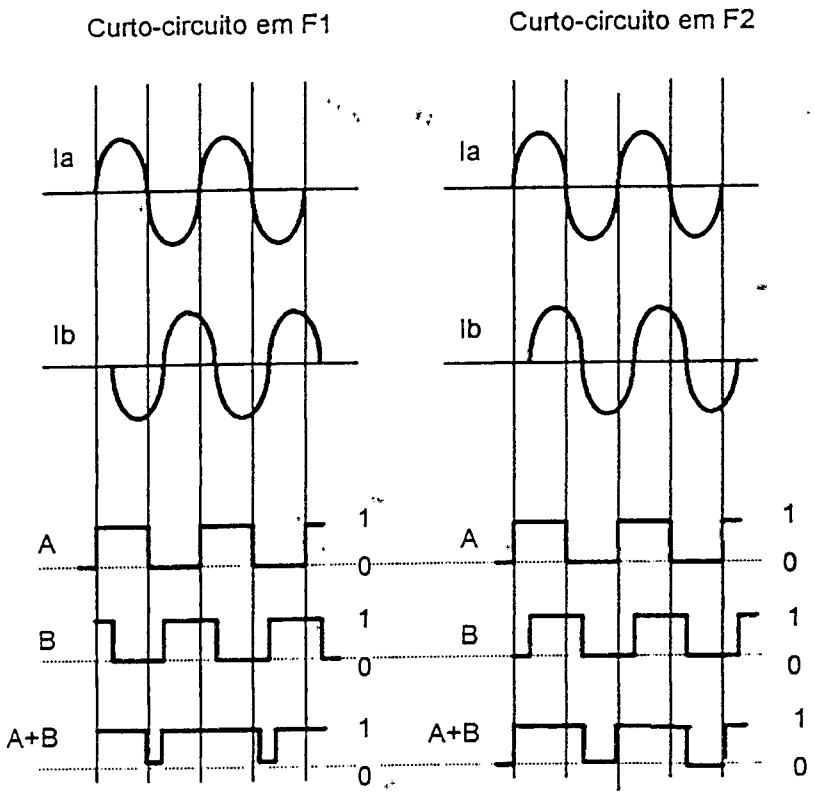
Defasamentos introduzidos pela capacitância da linha e pelo tempo de transmissão / recepção

As correntes Ia saindo do terminal A e Ib chegando ao terminal B não são iguais, como aparentemente parece. A corrente capacitiva da linha faz a diferença e, este fato introduz defasamento entre as correntes Ia e Ib.



Existe ainda, um segundo ponto que introduz defasamento entre as correntes comparadas em cada terminal de linha: é o tempo gasto pelo sistema de comunicações para levar os sinais de um terminal a outro. Isto é, em um comparador, há o sinal local que é comparado com o sinal remoto recebido com atraso.

De qualquer modo, se a proteção não possuisse nenhum dispositivo de compensação, as comparações seriam como as mostradas a seguir:

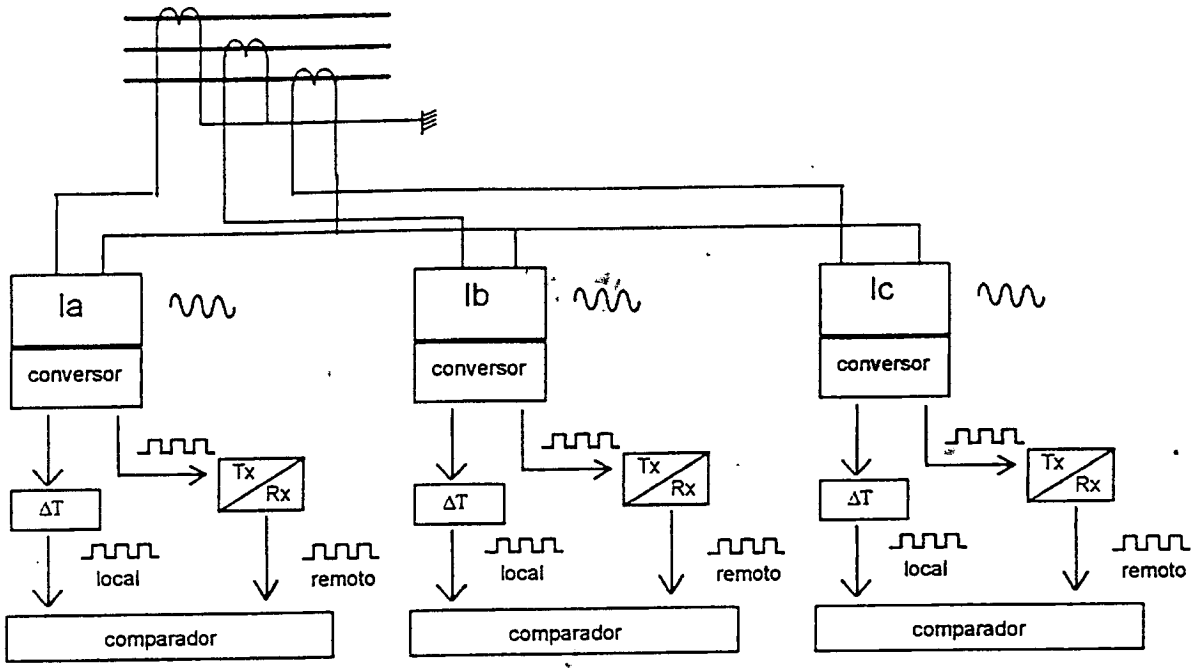


Verifica-se que ainda haveria condições de distinguir curto circuito interno à linha do curto circuito externo. Entretanto, existem nas proteções de comparação de fase, circuitos defasadores que compensam o defasamento causado pela corrente capacitiva (ajustáveis, em função dos parâmetros da linha e comprimento) e temporizadores que compensam o tempo de transmissão / recepção do sinal.

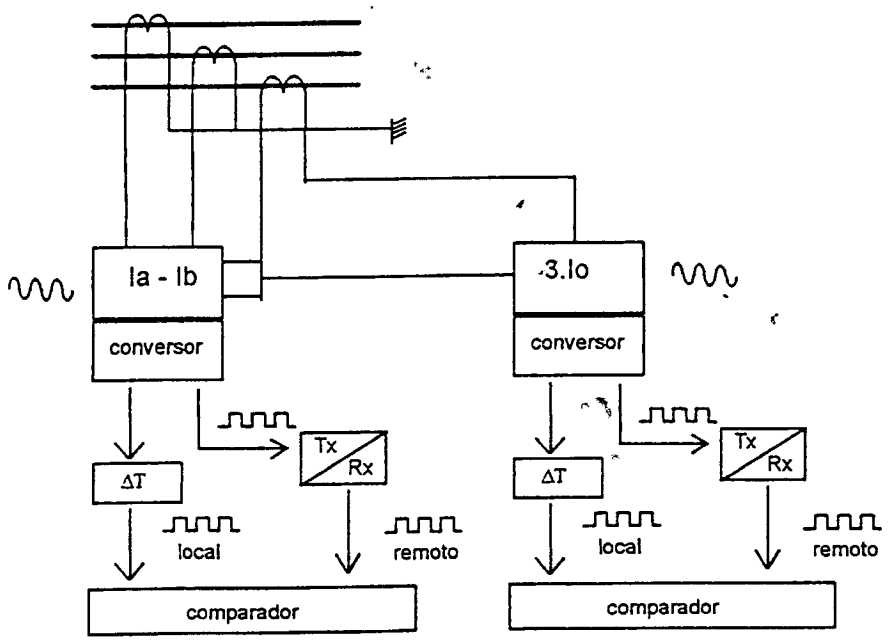
Quantidade de comparadores

Tres comparadores:

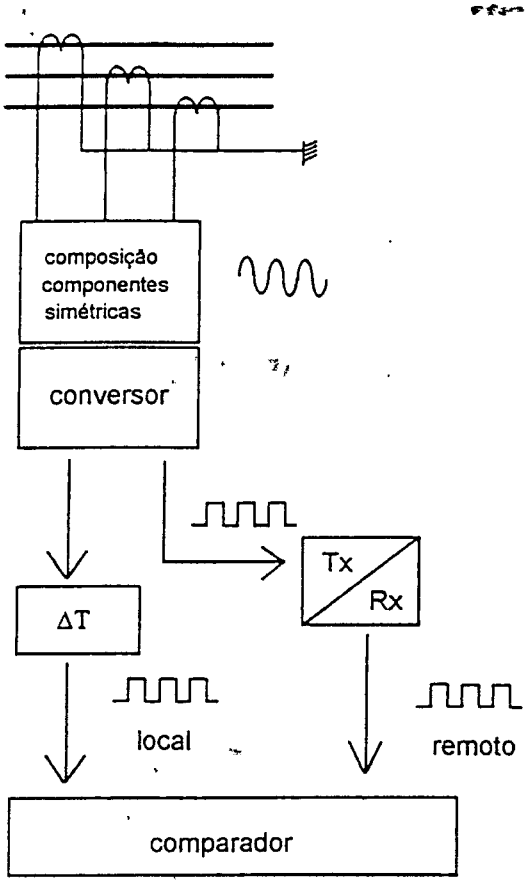
Existem proteções de comparação de fase que comparam as **3 correntes, fase por fase**. Necessitam, assim, de um canal de comunicação (Tx/Rx) por fase. Estas proteções são mais complexas e caras, porém apresentam rapidez de atuação:



Outras podem apresentar 2 (dois) comparadores ou, eventualmente e dependendo da concepção, 1 (um) comparador apenas. Opção de dois comparadores:



Opção de um comparador:



Neste último caso, a composição poderia ser feita da seguinte maneira:

$$I_{composto} = I_1 + 3.I_2 + C.I_0$$ Onde,

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_a + I_b.1\angle 120° + I_c.1\angle 240°) \qquad I_2 = \frac{1}{3}(I_a + I_b.1\angle 240° + I_c.1\angle 120°) \qquad I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

Com as fórmulas acima é possível a construção do circuito necessário para a composição das correntes. Deve-se observar que as correntes I_2 e I_0 não existem em condições equilibradas. A corrente I_2 aparece quando de qualquer desiquilíbrio (com ou sem terra) e a corrente I_0 aparece quando de defeito ã terra.

Aplicação da Proteção de Comparação de Fase

Ela pode ser utilizada principalmente quando há dificuldades na aplicação de proteção de distância:

- linhas curtas, com baixa impedância série;
- linhas onde há alta possibilidade de curtos-circuitos com alta impadância;
- linhas de extra alta tensão, com insuficiência ou inexistência de TP's;
- linhas com compensação série, inclusive as com capacitores nas extremidades (apenas algumas categorias de comparação de fase;
- linhas onde se exige maior rapidez na proteção para defeitos internos à linha.

Categorias

Quanto à concepção básica, pode-se classificar os esquemas de comparação de fase em duas categorias:

- esquemas de comparação simples
- esquemas de comparação dual

O esquema **simples** utiliza apenas a meia-onda positiva para a comparação, enquanto que o esquema **dual** utiliza as duas meias-ondas (positiva e negativa) para as comparações. Torna-se evidente que uma proteção simples pode ter um tempo de atuação maior do que o dual, dando uma diferença de tempo de até meio ciclo.

Detetores de Defeitos

Todo esquema de comparação de fase deve possuir *detetores de defeitos*, que também são chamados *elementos de partida*, com o objetivo de:

- Supervisão do circuito de *trip*. Isto é, mesmo que a lógica de comparação detecte grande defasamento entre as grandezas comparadas, o *trip* não é efetuado se não houver partida através dos detetores;
- Introdução de temporizadores nos circuitos de atuação, para se evitar falsos *trips* quando de transitórios no Sistema;
- Eventual problema no equipamento Carrier.

Em função dos detetores de defeitos utilizados, os esquemas de comparação de fase poderiam ser classificados em:

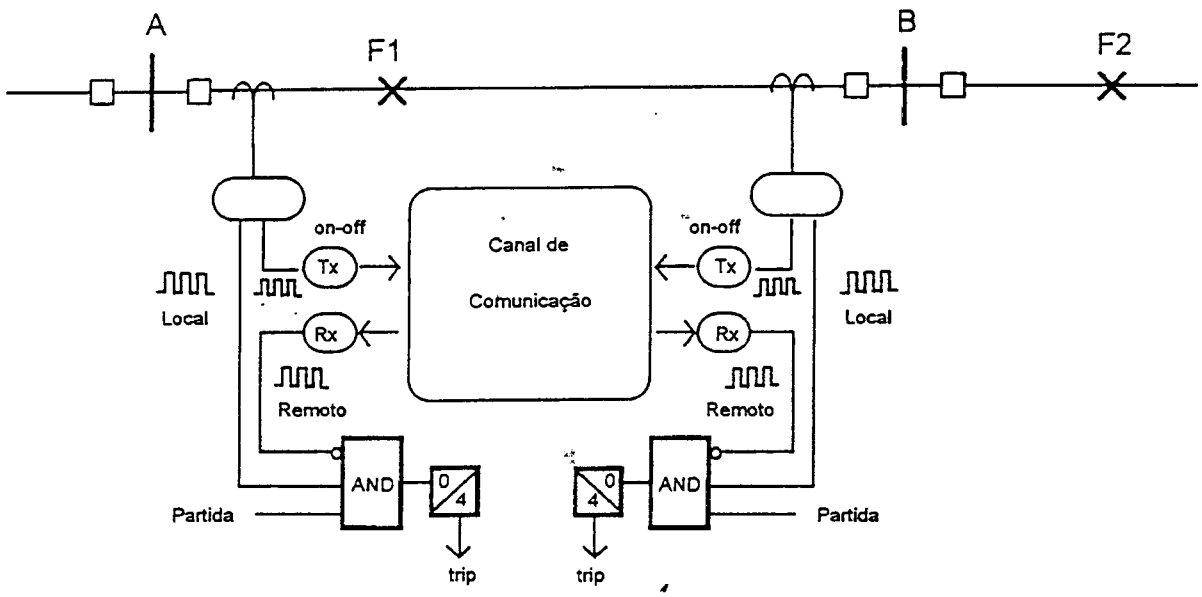
- Esquemas com partidas por sobrecorrente. Não se utiliza TP's. Unidades de partida são relés de sobrecorrente. Utilizado quando se tem altos níveis de curto circuito na linha protegida, bem mais altos que a carga máxima da linha.
- Esquemas com partida por relés de distância (impedância), além dos elementos de sobrecorrente. Haverá necessidade de se utilizar TP's. Elementos de partida necessários quando os níveis esperados de corrente de curto-circuito são baixos (em torno ou até menor que a corrente de carga).

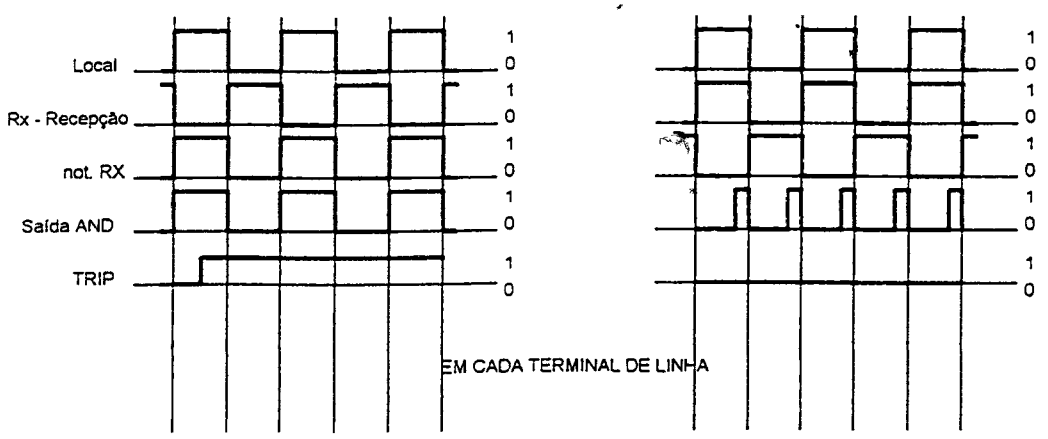
Exemplo de Esquema de Comparação Simples - Tipo Blocking

A figura a seguir mostra o funcionamento do esquema, que utiliza comparação da meia-onda positiva para uma única grandeza composta. É utilizado canal Carrier operando no tipo "on - off". Portanto a transmissão é efetuada apenas quando da partida da proteção (através de detector de defeitos).

Descrição do funcionamento:

- Para defeitos internos à linha, a onda quadrada local, após sofrer uma temporização antes de entrar na lógica de comparação, está essencialmente em fase com a onda quadrada recebida da outra extremidade da linha. O sinal de trip ocorrerá se, o sinal na saída do AND permanecer por mais de 4 ms. Estes 4 ms em 60 Hz correspondem a 90 graus elétricos. Isto significa que ocorrerá trip se as correntes nos 2 terminais estão defasadas num ângulo até 90 graus (180 a 90 graus).





Curto circuito em F1 (interno)

Curto circuito em F2 (externo)

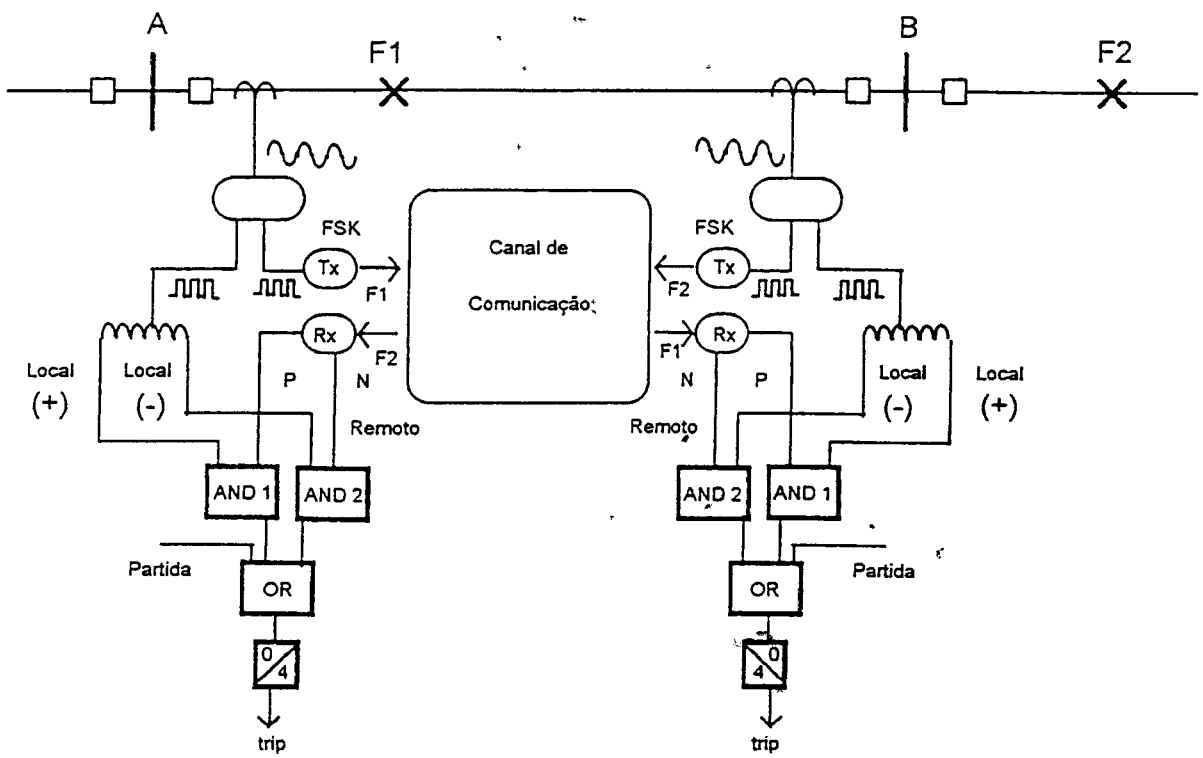
- Para defeitos externos à linha, as ondas quadradas estarão em oposição. Ocorrerão pulsos na saída do AND, com largura proporcional ao defasamento eventualmente existente entre os 2 terminais. Para defasamentos de 0 até 90 graus mais ou menos, não haverá trip devido à temporização de 4 ms.

- O esquema chama-se "blocking" pois o sinal recebido é utilizado para bloquear o trip. É importante observar que, neste caso, uma falha do sinal Carrier não impede a proteção de atuar para defeitos internos à linha.

- Apenas para curto-circuito externo à linha, a proteção pode atuar falsamente, quando de falha na comunicação, desde que haja partida através dos detetores de defeitos.

Exemplo de esquema de comparação dual - tipo "unblocking"

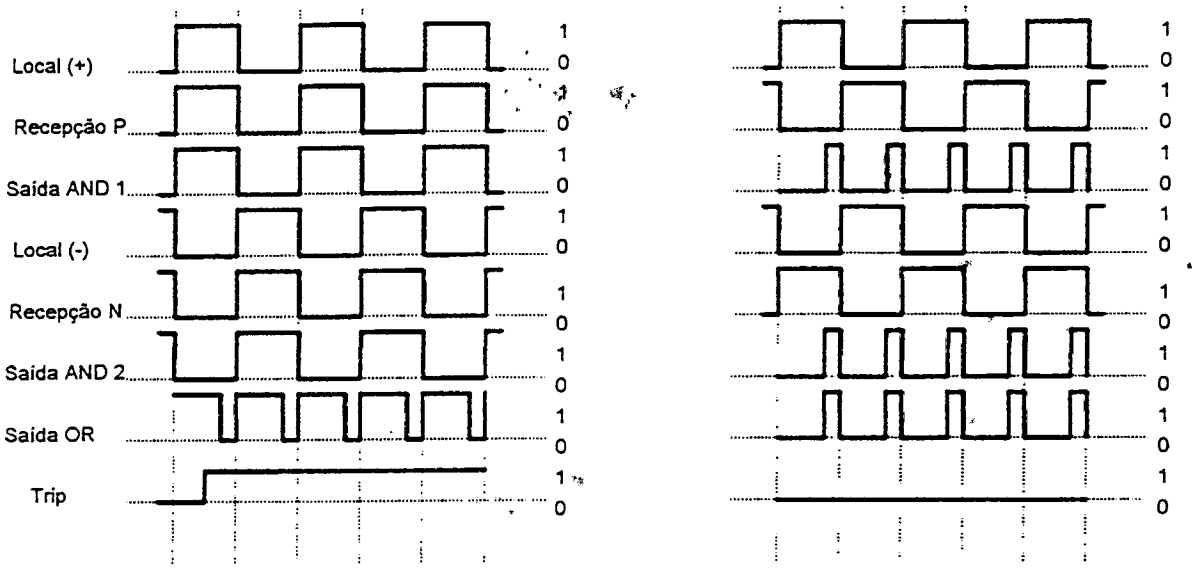
A figura a seguir mostra o funcionamento deste esquema, que utiliza comparação das meias ondas positiva e negativa, para uma única grandeza composta, com a comunicação operando no modo "frequency shift key" (FSK):



O sinal de guarda é transmitido constantemente. Quando da meia onda positiva (+), o chaveamento é acionado, passando-se da frequência de guarda (F_g) para a frequência de operação (F_{op}). O receptor é feito de tal modo que, com a frequência (F_g) se tenha a saída N e, com a frequência (F_{op}) se tenha a saída P. Sabe-se desta maneira que, na outra extremidade da linha se tem a meia onda positiva com (+) no terminal local e, meira onda negativa com (-) no terminal local.

Descrição de funcionamento:

- Para curtos-circuitos internos à linha de transmissão (em F1), para qualquer uma das meias ondas P (+) e N (-), a onda local está essencialmente em fase (após DT) com a recebida da outra extremidade. Assim, tem-se na saída OR quase um sinal contínuo, a menos de pequenos pulsos (0) correspondentes ao eventual defasamento entre as grandezas comparadas. O "trip" ocorrerá desde que tenha havido partida da proteção e, desde que o defasamento seja superior a um ângulo em torno de 90 graus.



EM CADA TERMINAL DE LINHA

Curto circuito em F1 (interno) Curto circuito em F2 (externo)

- Para curtos-circuitos externos à linha (em F2), ocorre o inverso. Na saída do OR tem-se pequenos pulsos (1) correspondentes ao eventual defasamento. Desde que estes pulsos tenham duração inferior a 4 ms (defasamentos inferiores a 90 graus), não ocorrerá "trip".

- O esquema descrito chama-se "unblocking" pois a reçepção do sinal permite a atuação da proteção (desbloqueio). Com uma eventual falha no canal de comunicação (desaparecimento do sinal de guarda, sem o aparecimento da frequência de operação), não haverá "trip", nem para defeitos internos nem para defeitos externos.

- Com a linha de transmisssão aberta em um dos terminais e o canal de comunicação funcionando, o sinal de guarda permanecerá sendo recebido no terminal fechado. Nestas condições, para defeitos internos à linha de transmissão, há condições de "trip" pela meia onda negativa.

Observação

Existem muitos outros esquemas de comparação de fase, nas proteções comercialmente disponíveis no mercado. Os exemplos mostrados tem a finalidade de dar uma idéia do que seja esta proteção e , qual a influência do canal de comunicação.

4.3. Esquemas de Transferência de Sinal de Trip ("TRANSFERRED TRIPPING")

Tipos de esquemas

Nestes esquemas, a informação da existência de sinal de "trip" pela proteção, em uma das extremidades da linha de transmissão, é transmitida através de canal de comunicação a outra (s) extremidade (s). Dependendo do aproveitamento que se faz do sinal recebido, um dos seguintes esquemas pode ser utilizado:

- "Transferência Direto de Trip com Subalcance" (*Direct Underreaching Transferred Tripping*)
- "Transferência de Trip Permissivo com Subalcance" (*Permissive Underreaching Transferred Tripping*)
- "Transferência de Trip Permissivo com Sobrealcance" (*Permissive Overreaching Transferred Tripping*)
- "Transferência de Trip Direto" (*Direct Transferred Tripping*)

Consideração sobre canais de comunicação

Nos esquemas de transferência de trip, pode-se utilizar teoricamente qualquer tipo de canal de comunicação. A escolha, porém, depende não só de considerações técnicas mas também de tradições e costumes de cada região ou País.

Nos U.S.A., para estes esquemas, costuma-se não utilizar Carrier (onda portadora) em linhas de transmissão. A preferência e os argumentos a favor do Micro-Ondas ou do Fio-Piloto são os seguintes:

√ Como o sinal transferido de um terminal para outro utiliza a própria linha de transmissão sob defeito (Carrier), este sinal pode sofrer grande ou total atenuação, diminuindo consideravelmente a confiabilidade.
√ A utilização de eventual linha adjacente para a transferência de sinal não é prática.

Por outro lado, fabricantes Europeus, de uma maneira geral, sugerem a utilização do Carrier sobre linhas de transmissão, argumentado que:

→ Os equipamentos Carrier podem ser feitos mais *potentes*, diminuindo consideravelmente os efeitos da atenuação.
→ Os acoplamentos podem ser feitos fase-fase e, a probabilidade de ocorrência de curto-circuito bifásico envolvendo estas duas fases é pequena.
→ Para linhas duplas, o acoplamento pode ser feito envolvendo fases dos dois circuitos.
→ Sistemas de Micro-Ondas são bem mais caros, se já não existem quanto à infraestutura de comunicações da Empresa.
→ Serviços telefônicos para fio-piloto não são comuns.

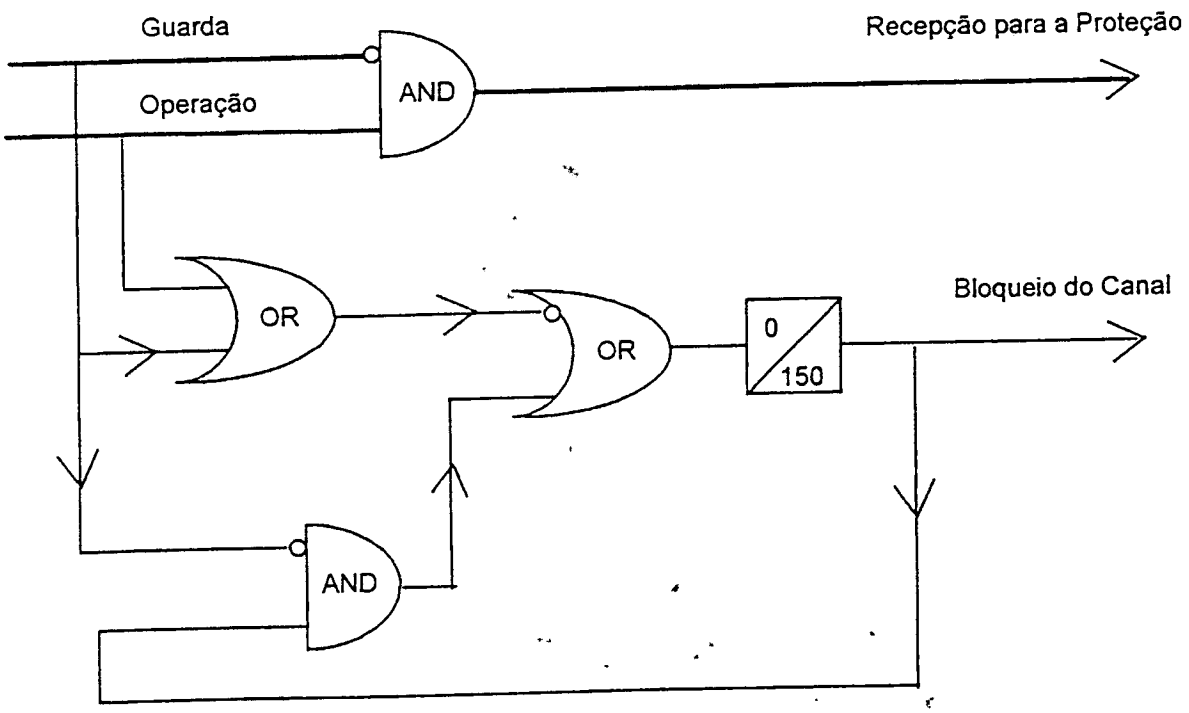
No Brasil e em geral na América do Sul, utiliza-se qualquer dos dois conceitos, dependendo da Empresa concessionária. Qualquer que seja o meio de comunicação, porém, o modo de operação "Frequency Shift Key" (FSK) é utilizado. Este modo de operação permite maior segurança contra sinais falsos que comprometeriam a confiabilidade da proteção.

Lógica de Recepção FSK

A figura a seguir mostra de modo simplificado, a lógica de recepção para esquemas *transferred trippings*. O importante a observar é que o fechamento final do contato de recepção depende:

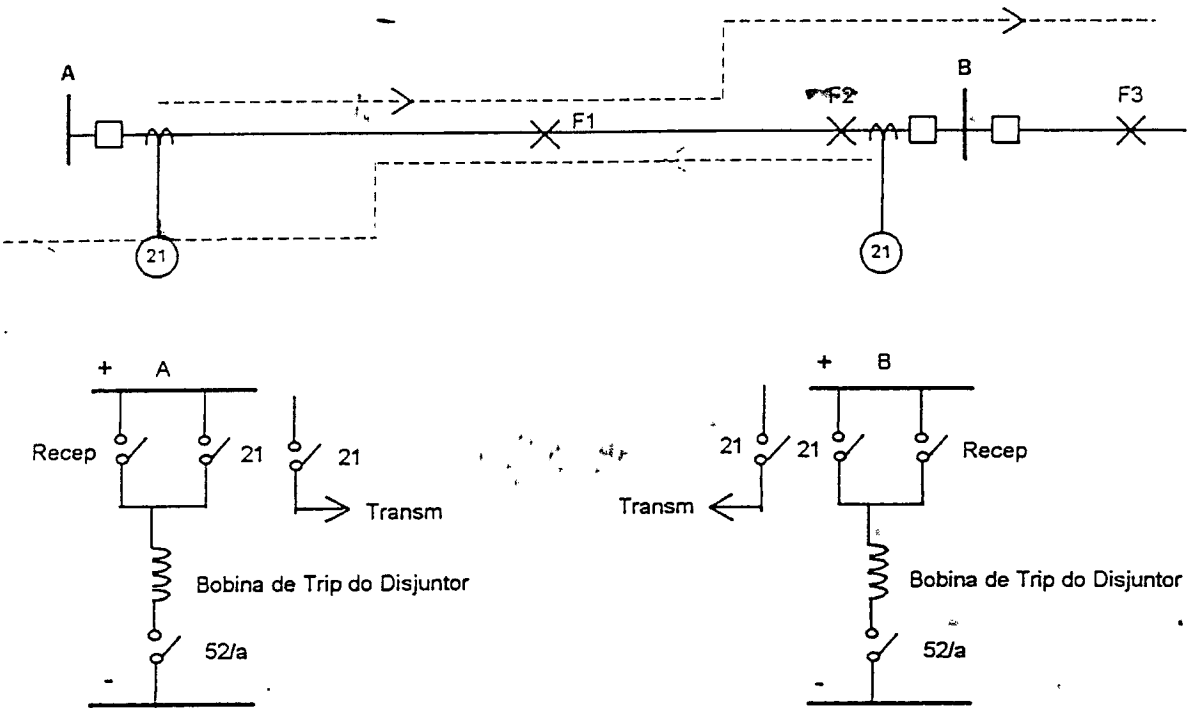
- da existência da frequência de trip (operação), sem existência da frequência de guarda;
- da existência do sinal de guarda imediatamente antes (150 ms) da recepção do sinal de trip.

O desaparecimento do sinal de guarda por mais de 150 ms provoca o bloqueio do receptor.



Esquema de Transferência de Trip Direto com Subalcance

A figura a seguir mostra o princípio de funcionamento deste esquema. Há necessidade de transceptor para cada terminal de linha (2 frequências). Para cada terminal de linha o *trip local* não depende da recepção do sinal e, a recepção do sinal desliga diretamente o disjuntor. Por isso mesmo, a proteção deve ser ajustada com subalcance (proteção de distância) para se ter seletividade.



TRANSFERÊNCIA DE TRIP DIRETO COM SUBALCANCE

Para um curto-circuito em F1, há desligamento das duas extremidades da linha pelos respectivos relés de distância (21), sem necessidade da teleproteção. Ocorrerá recepção em cada extremidade, mas o sinal de trip será redundante.

Para um curto-circuito em F2, o disjuntor da extremidade B será desligado pela própria proteção de distância. O disjuntor da extremidade A será desligado pela recepção do sinal de transferência de trip. No caso eventual de falha do Carrier, o disjuntor em A será desligado pela sua proteção de distância com o tempo de 2a. zona.

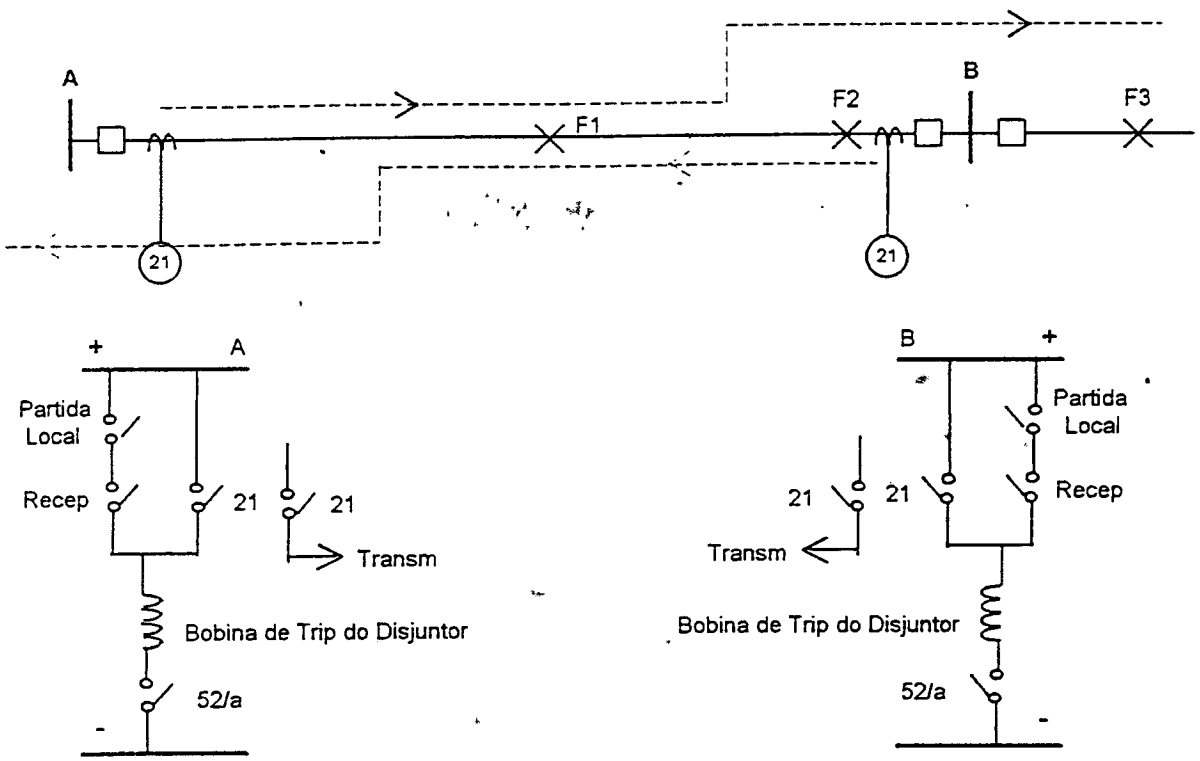
Para um curto-cirucito em F3, o relé em B não atuará pois o defeito está na sua direção contrária. O relé em A atuará na sua 2a. zona apenas se houver falha da proteção da outra linha adjacente/

Considerando que neste esquema a recepção do sinal desliga diretamente o disjuntor, *há riscos de desligamento intempestivo devido a sinal espúrio no canal de comunicação,* apesar da lógica FSK. Portanto este esquema é pouco utilizado (há alternativa, como mostrado no esquema a seguir).

Esquema de Transferência de Trip Permissivo com Subalcance

Este esquema é uma variação do anterior, para se evitar falsos desligamentos quando de recepções espúrias. No circuito de desligamento pela recepção, é colocada uma supervisão, de tal maneira que o trip é efetuado apenas quando de defeito em direção e alcance, detetado por um elemento de impedância (proteção de distância: elemento de partida).

Com isto a confiabilidade é aumentada, diminuindo-se a probabilidade de falsos desligamentos. Este esquema é bastante utilizado por fabricantes europeus, para linhas de transmissão de comprimentos médios e longos. Uma falha do canal de comunicação não compromete a proteção primária:



TRANSFERÊNCIA DE TRIP PERMISSIVO COM SUBALCANCE

Esquema de Transferência de Trip Permissivo com Sobrealcance

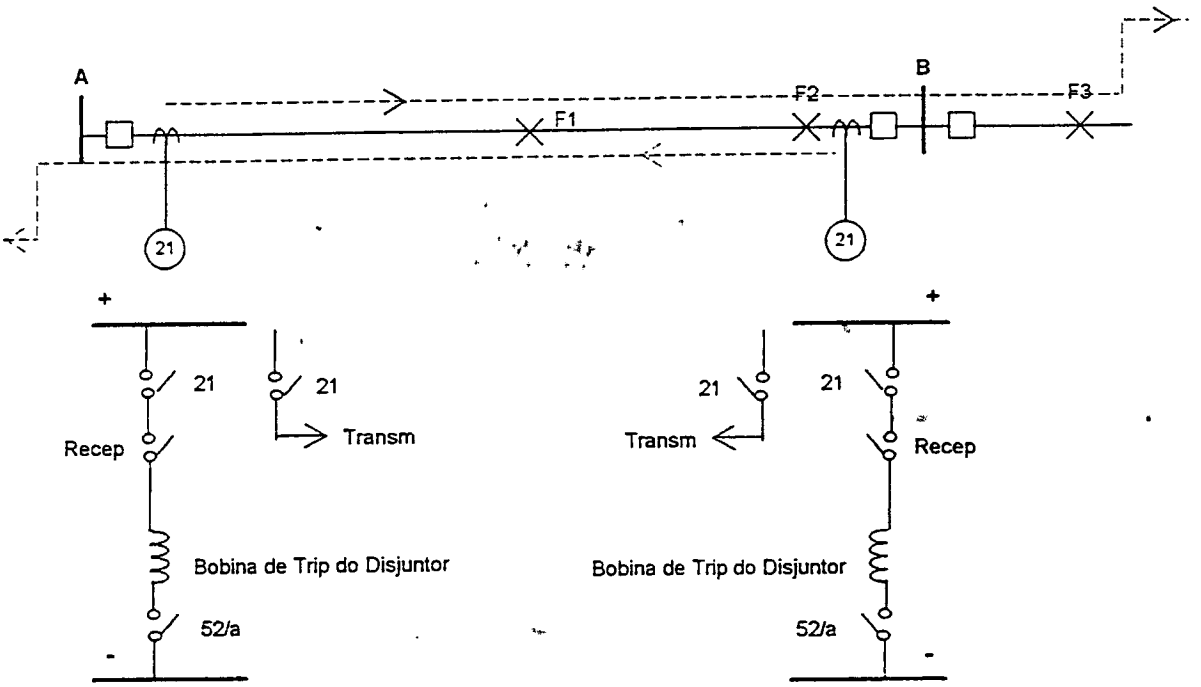
Principalmente para linhas de transmissão CURTAS, não é possível o ajuste preciso da proteção de distância para 80 ou 85 % da linha de transmissão. Neste caso, ao se utilizar um esquema com subalcance, há grande probabilidade de atuação incorreta da própria proteção de distância devido aos erros de medição.

O esquema de transferência de trip permissivo com SOBREALCANCE mostrado a seguir é feito de tal modo a resolver este problema.

Todo *trip local* só será possível com a *permissão* recebida da outra extremidade da linha. Nestas condições, pode-se ajustar a proteção com sensibilidade suficiente para ultrapassar os limites (em alcance) da própria linha.

O defeito F1 (ou F2) será detetado de imediato pelas proteções das duas extremidades, que irão transmitir permissões. Em cada extremidade, a própria atuação e a recepção irão possibilitar o desligamento do disjuntor.

Um defeito F3 será detectado pelo relé em A, mas não pelo relé em B. Não haverá desligamento em A pelo fato de não existir recepção (permissão de B):



TRANSFERÊNCIA DE TRIP PERMISSIVO COM SOBREALCANCE

Deve-se observar que neste tipo de esquema, uma falha no canal de comunicação compromete a proteção primária da linha/

Um outro aspecto, muito importanate, a observar, é que este esquema pode ser utilizado com RELÉS DE SOBRECORRENTE DIRECIONAIS (fase e terra) ao invés de relés de distância. Isto decorre do fato de que o ajuste do alcance não é criterioso para o esquema. Apenas a direção.

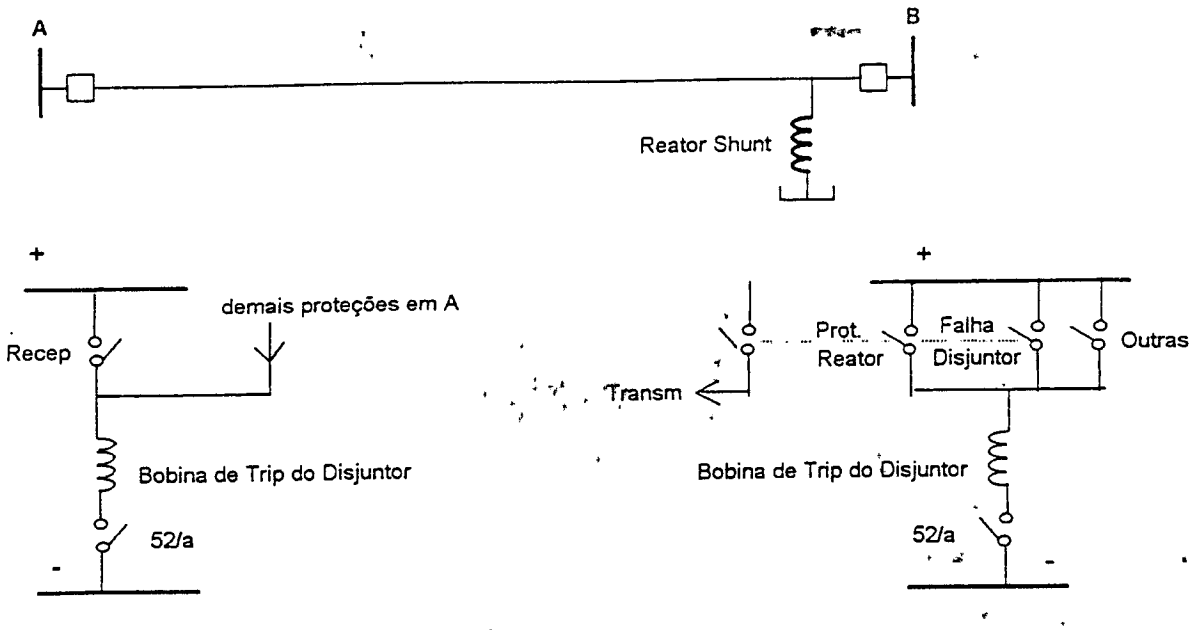
Esquema de Transferência de Trip Direto

Neste esquema, o sinal de trip de uma extremidade é utilizado para *desligamento direto* na outra extremidade, sem supervisão.

Às vezes é *inevitável* a utilização da transferência direta, apesar do risco de desligamentos indevidos, para determinados casos (por exemplo, a proteção de Reator Shunt diretamente conectado na linha, sem disjuntor local). Também no caso da proteção de falha de disjuntor é necessária a transferência direta de trip para a outra extremidade da linha.

Deve-se observar que defeitos internos no Reator Shunt não são, em geral, detetados pela proteção de distância da linha. Nem falhas de disjuntores.

Na figura a seguir, mostra-se um exemplo do esquema:



TRANSFERÊNCIA DE TRIP DIRETO

Neste esquema, uma falha do canal de comunicação compromete totalmente a proteção do Reator Shunt.

4.4. Esquemas de Comparação Direcional ("DIRECTIONAL COMPARISON")

Tipos de esquemas

Nestes esquemas, a informação da *direção* é transmitida de um terminal para o outro através do canal de comunicação. Dependendo do aproveitamento que se faz do sinal recebido e dependendo também de como e qual a direção que é detetada por cada terminal, um dos esquemas seguintes pode ser utilizado:

- Esquema de comparação direcional com bloqueio ("Directional Comparison Blocking System")
- Esquema de comparação direcional com desbloqueio ("Directional Comparison Unblocking System")

Considerações sobre o canal de comunicação

Para estes esquemas pode-se utilizar, também, qualquer canal de comunicação. Nos USA, recomenda-se a utilização de canais Carrier em linhas de transmissão, talvez pelo fato destes esquemas serem por eles os mais utilizados, e também pelo fato de que no esquema "blocking", o sinal Carrier não é utilizado quando de defeitos internos à linha protegida (não havendo problemas quando de atenuação).

Os fabricantes europeus sugerem sempre os canais Carrier em linhas de transmissão. Deve-se porém observar que esquemas de comparação direcional não são muito comumente sugeridos pelos europeus.

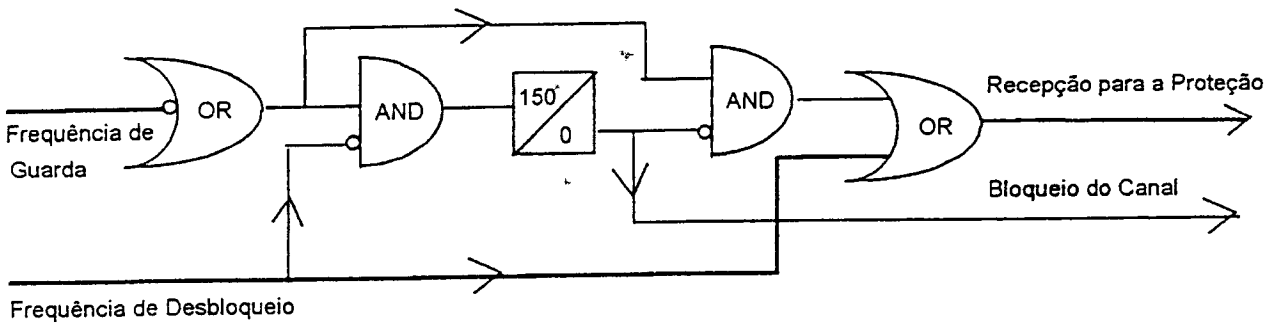
Tipos de Operação Carrier

Para esquemas "blocking" são utilizados carrier "on-off", pois as informações trocadas entre as duas extremidades não são críticas do ponto de vista da proteção da linha de transmissão.

Para esquemas "unblocking" as informações são mais críticas, e portanto o carrier "frequency shift" (FSK) é utilizado.

Lógica de recepção FSK para esquemas "unblocking"

A figura a seguir mostra de uma maneira simples, a lógica de recepção para um esquema de desbloqueio:



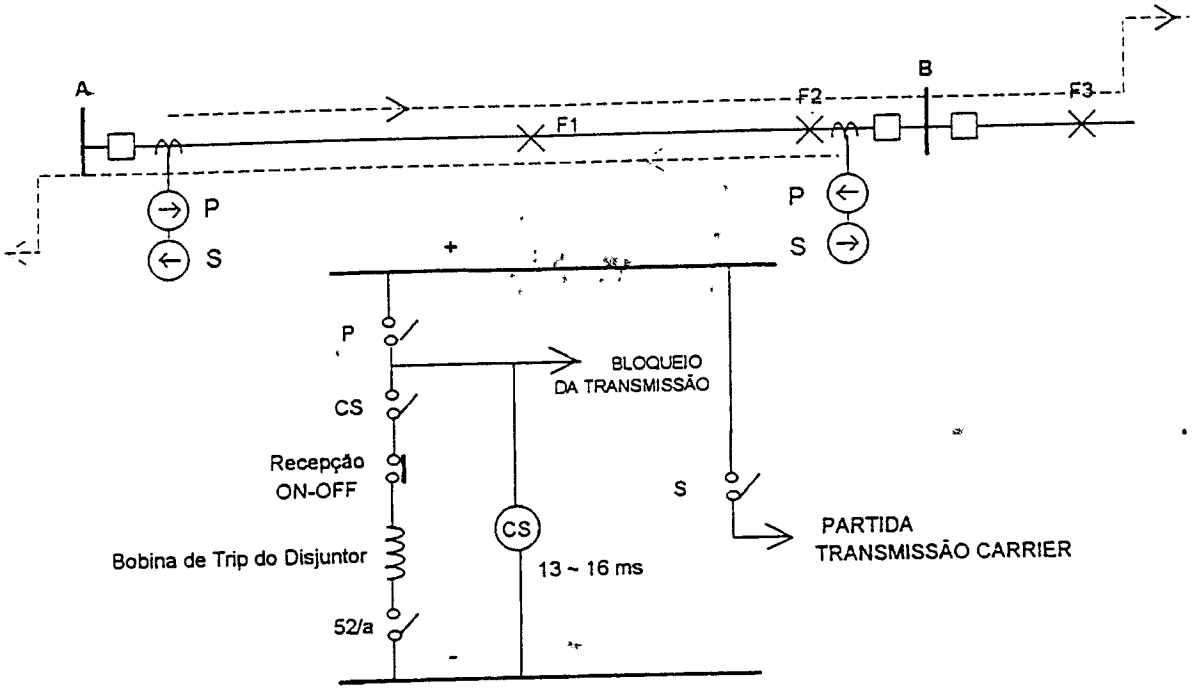
Observa-se que:

- Ao desaparecer o sinal de guarda, por 150 ms haverá simulação de recepção para a proteção, mesmo sem existir, de fato, o sinal de desbloqueio.
- Caso não apareça a frequência de desbloqueio (devido, por exemplo, a uma atenuação), após 150 ms, é cancelada a "recepção" e o receptor é bloqueado.
- A frequência de desbloqueio causa, sempre, "recepção" para a proteção.

Este esquema não serviria para sistemas de transferência de trip direto.

Esquema BLOCKING de Comparação Direcional

A figura a seguir mostra como funciona o esquema "blocking":



COMPARAÇÃO DIRECIONAL TIPO BLOCKING

O aspecto principal deste esquema é evitar que uma informação crucial para a proteção seja transmitida sobre uma linha em defeito. Assim, a transmissão é efetuada sobre a linha apenas para "informar" a outra extremidade que o defeito é externo à linha.

Os relés de proteção **S** são conectados de tal maneira a detetar defeitos "para trás" . Quando de defeito em **F3**, a proteção **S** da extremidade **B** ativará o Carrier e transmitirá sinal para bloqueio da outra extremidade. A proteção **P** na extremidade **A** detectará também o defeito **F3**. Porém, seu trip é retardado de 13 a 16 ms para que haja tempo para chegada do sinal de bloqueio.

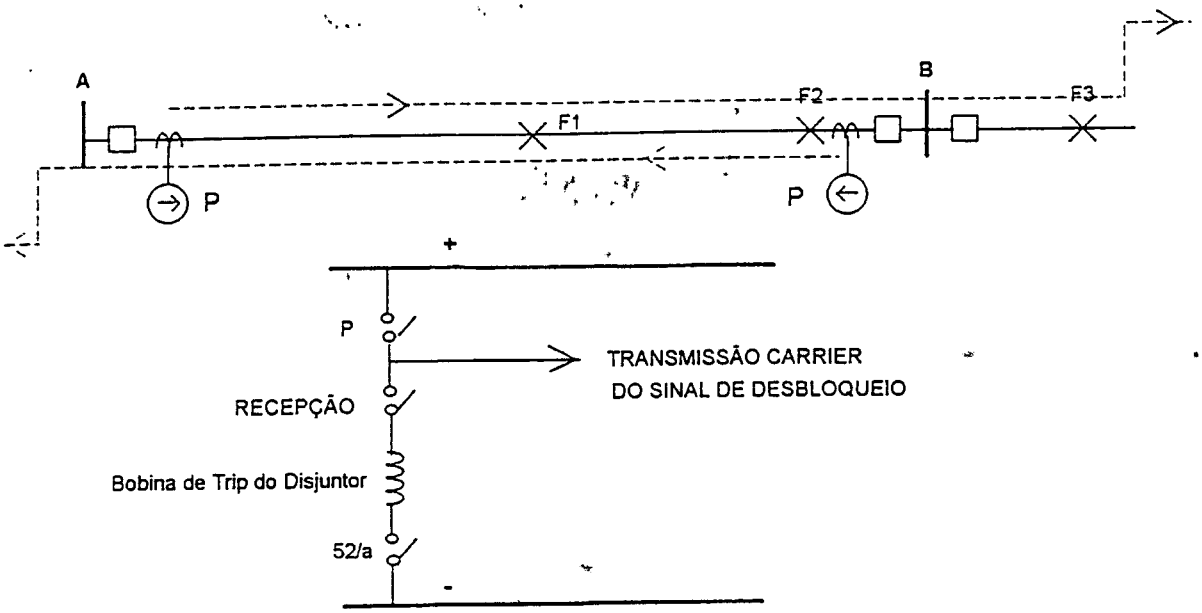
Para curtos-circuitos em **F1** e **F2**, nenhuma proteção **S** atuará. Mesmo que haja uma eventual atuação de um relé S, a atuação da proteção **P** bloqueará a transmissão. Após as temporizações **CS**, os disjuntores serão desligados. O Carrier, neste caso, não tem influência na proteção.

Evidentemente, as proteções P e S devem ser *direcionais*. Podem ser utilizados relés de distância ou relés direcionais de sobrecorrente.

Observa-se, finalmente, que os relés de proteção **P** deverão ser ajustados com *sobrealcance*.

Esquema UNBLOCKING de Comparação Direcional

O esquema mostrado a seguir é bastante semelhante ao esquema de transferência de disparo permissivo com sobrealcance. A diferença está na lógica de recepção FSK do canal de comunicação (figuras das páginas 26 e 31). A lógica utilizada para a transferência de trip é mais segura.



COMPARAÇÃO DIRECIONAL TIPO UNBLOCKING

É bastante evidente que o esquema de transferência de trip permissivo com sobrealcance se confunde com o esquema de comparação direcional tipo unblocking. Para diferenciá-los, pode-se estabelecer o seguinte:

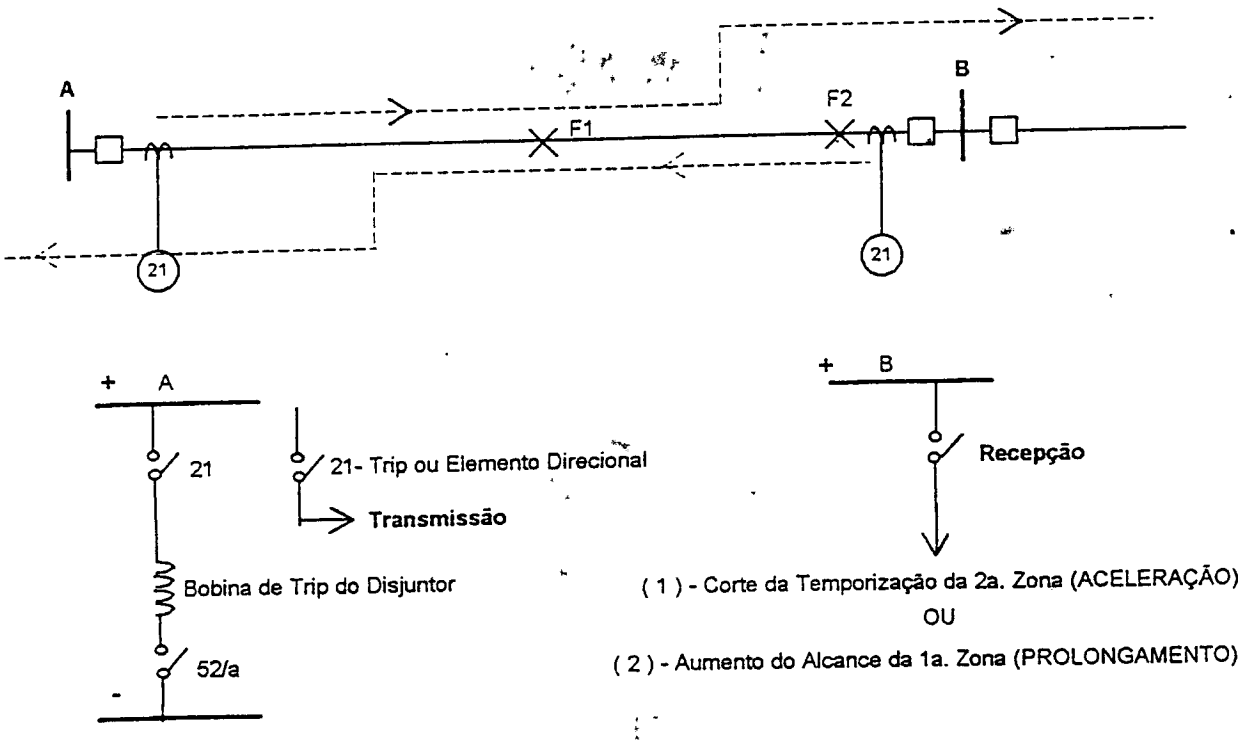
- Se o contato de trip da proteção é utilizado para a transmissão carrier e, se a lógica é a mostrada na página 26, o esquema é de transferência de trip.
- Se o contato de direção ou elemento de partida da proteção é utilizado, e se a lógica é a mostrada na página 31, o esquema é de comparação direcional.

Porém, é melhor compreender que tudo é uma questão de terminologia e, que o que importa é o entendimento do princípio de funcionamento e as limitações de cada esquema.

4.5. Esquemas de ACELERAÇÃO ou PROLONGAMENTO DE ZONA de proteção de distância

Estes tipos de esquemas são muito utilizados por fabricantes europeus e, o grau de confiabilidade é semelhante ao do esquema de transferência de trip com subalcance. Isto é, no caso de falha do Carrier, as proteções de linha irão atuar normalmente, apenas com atraso no tempo de atuação para defeitos em alguns trechos da linha protegida (2a. zona).

A figura a seguir mostra o funcionamento do esquema:



ESQUEMA DE PROLONGAMENTO OU ACELARAÇÃO DE ZONA

Para um defeito na linha, pelo menos um dos relés detecta o mesmo na sua 1a. zona. Este relé desliga o respectivo disjuntor e envia sinal para a outra extremidade da linha. Na extremidade receptora, o sinal é utilizado no relé de distância para uma das duas alternativas:

- Para cancelar a temporização de 2a. zona. A seguir o relé irá atuar (trip). Éste esquema é o chamado *Aceleração de Zona.*
- Para prolongar o alcance da 1a. zona. A seguir o relé irá atuar (trip). Este esquema é o chamado de *Prolongamento de Zona.*

O sinal transmitido pela primeira extremidade e recebido na segunda pode ser o sinal de "trip" ou o sinal de "direção". Este tipo de esquema é muito utilizado na CESP - Companhia Energética de São Paulo.

Impressão: Gráfica CESP
Ilha Solteira/Setembro/1997

Tiragem: 18 exemplares

GOVERNO DO
ESTADO DE SÃO PAULO

SECRETARIA
DE ESTADO
DE ENERGIA

CESP
Companhia
Energética de
São Paulo